Yüan-tzu-nêng

Vol. 6, no. 1

原子能

1

1961

中国科学院原子核科学委員会編輯委員会編輯

科 学 出 版 社 出 版

目　录

論　文

测量融熔碱金属的压力、流量及液位用的仪表……（1）
用脉冲法测量石墨內的中子龄……（9）
論迴旋式加速器中束流的高頻积聚……（15）
关于中子輻照下弹性应力弛豫問題……（20）
工业鈾矿石分类的基本原則……（27）
关于应用浮选法淨化放射性废水的問題……（34）
波兰 BBP-C 型反应堆运行一周年……（39）

簡　报

(TBP) 重水反应堆的 γ 射綫譜……（51）
关于求出平面源的中子在无限介质內的空間能量分布問題……（54）
簡单的多道脉冲振幅分析器……（57）
Al_2O_3–Sm_2O_3 和 Al_2O_3–Gd_2O_3 系的研究……（59）

科　技　新　聞

在苏联国民經济中应用放射性同位素和核輻射的全苏会議……（61）
放射性同位素和核輻射在探矿和采矿中的应用……（61）
放射性同位素和核輻射在冶金工业中的应用……（63）
放射性同位素在选矿和采矿工业中的应用……（64）
放射性同位素和核輻射在建筑中的应用……（66）
放射性同位素在輕工业中的应用……（68）
放射性同位素和核輻射在机械制造中的应用……（70）
放射性同位素和核輻射在农业中的应用……（72）
放射性同位素和核輻射在食品工业中的应用……（74）
放射性同位素和核輻射在医学中的应用……（77）
控制和使工艺过程自动化用的 α、β、γ 輻射源……（79）
簡訊……（80）

新　书　介　紹

最新文献……（82）

測量融熔碱金属的压力、流量及液位用的仪表

基利洛夫 (П. Л. Кириллов),
高列斯尼可夫 (В. Д. Колесников),
庫茲涅佐夫 (В. А. Кузнецов),
圖尔欽 (Н. М. Турчин).

本文描述了測量液态金属的压力、流量及液位用的仪表的結构，計算原則及运用經驗。具有上述用途的仪表可用于液态金属載热剂的反应堆。

本文作者們进行研究的結果确定：結构上最可靠和簡单，实际应用上足够精确的仪表，是带有中間隔离液体的双摺箱式压力表，具有永久磁鉄的磁流量計，以及超短波及电位計式的液位計。

在研究利用鈉及鈉鉀合金作为載热剂的工艺时，首要任务之一是制造出測量液态金属的压力、流量及液位用的仪表。同类的为水及气体而設計的仪表，在此情况下不能应用。第一是由于在这些仪表中所用的材料(黃銅、錫等)在上述的液态金属中会遭到腐蝕；第二由于金属熔点高，所以要求特殊的装置来加热仪表的发送器。液态金属的純度对于仪表的工作有很大关系。鈉及鈉鉀合金中所含的氧化物聚积在迴路的較冷部分，会引起管道的堵塞或者改变仪表弹性元件的特性，所以压力測点与发送器之間的管道不能很长。开口端伸出在热金属表面之上的气体管道或眞空管道，会被冷凝的金属所堵塞。

目前有关这方面仪表的文献并不多。最完全的文献一覽表見液态金属手册[1]。文献[2]中有一章述及仪表。应該指出，文献[1,2]中所述的大多数方法，由于不够完善及精确度不高，或者由于太复杂和极不可靠，在液态金属的工作中沒有得到足够广泛的采用。在本文中叙述了一些用于融熔碱金属装置上的仪表的設計及运用結果。

压力表

测量液态金属压力最簡单方法之一，是通过充满惰性气体的隔离箱插入普通的压力表(图 1)。这个方法的缺点在于必須对箱內金属液位进行控制，而且由于压力表管道被冷凝的金属所堵塞致使装置的使用期不长。

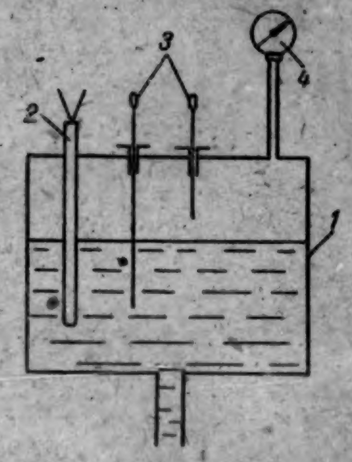


图 1 测量压力用的隔离箱簡图
1——隔离箱； 2——热电偶； 3——液位信号器； 4——压力表。

文献[2]中所述的应变計式压力发送器，对于大量生产說来太复杂，而且运用起来不大可靠。其工作中的主要毛病是由于应变計金属絲性質的改变以及应变計与薄膜之間的連接不牢所引起的。

“压力表”工厂設計了感应发送器 MMC-4 的結构(图 2)。用特种鋼制的薄膜被压紧在法兰盘之間。发送器的下部法兰盘直接焊接在迴路管道上。由于与主管道的距离小，这个仪表不需要专門加热。这样的仪表在温度达 450℃、压力达 10 大气压的鈉迴路上已經采用过。仪表的薄弱环节是薄膜，它不能防止过載，并在迴路中經常的流体冲击的情况下会损坏。

对于实驗装置說来,足够简单而又可靠的是双折箱式压力表(图 3). 发送器全部零件都用 1X18H9T 不銹鋼制成. 在进入下部小室 *1* 的金属压力作用下，折箱伸长，并推动联杆 *2*. 联杆的位移传送到上部小室 *3* 的折箱，此小室通过管接头 *4* 而充满着油. 这个折箱的收縮提高上部小室内的压力，它可用普通压力表 *5* 测量. 后者应保持其工作容积不变，因为不然的話，

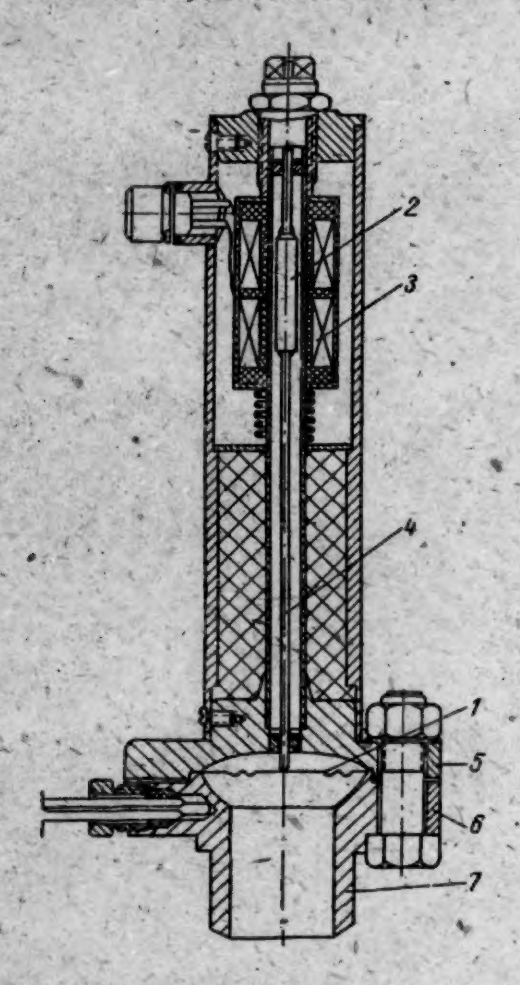


图 2 带有感应綫圈的薄膜式压力发送器

1——薄膜；2——鉄心；3——感应綫圈；4——联桿；5,6——法兰盘；7——焊接用連接管.

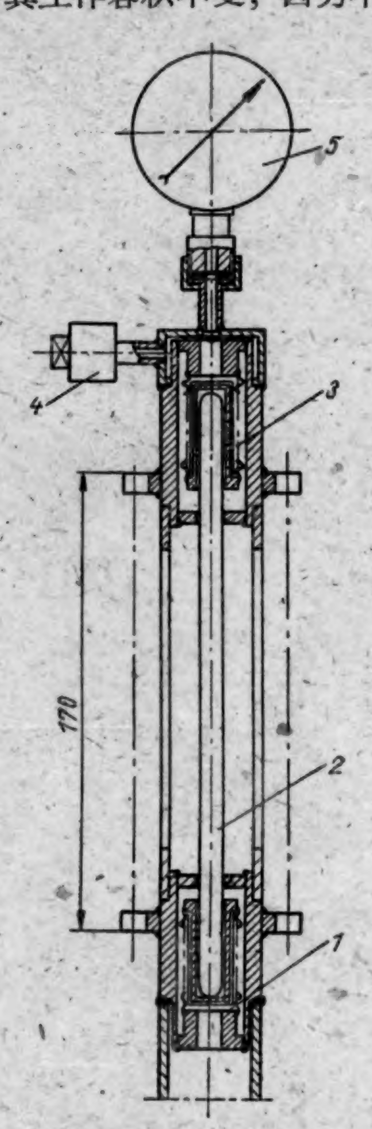


图 3 双折箱式压力表

折箱的位置将改变得很厉害，这会导致因折箱的刚性而引起的誤差. 这个誤差值是和折箱的刚度与其横截面面积之比成正比. 三个具有不同刚度及不同尺寸的折箱式压力表与 0.35 級的标准压力表配成一套进行了校驗. 根据校驗結果作出了曲綫图(图 4)，图中表示了在压力为 6 个大气压时，仪表刻度偏移的百分数 δ 和折箱刚度与其横截面面积之比之間的关系. 从图可見，当 $\frac{A}{F}=1.25$ 公斤/厘米^{3}时，刻度偏移为 2.5%，这是在工程上采用 2.5 級的仪表时所容許的. 在設計此类压力发送器时，应該特别注意仪表的温度誤差. 它主要是由以下两个原因引起的：第一是上部小室内油的膨胀，第二是联杆与紧束螺杆的伸长不同. 温度誤差的第一个組成部分可按下式計算

$$\Delta p_1 = 2A\frac{V\beta\Delta t_1}{F^2}, \tag{1}$$

其中 A——折箱的刚度（公斤/厘米）；V——上部小室容积（厘米^3）；β——油的体积膨胀系数（1/℃）；F——折箱横截面面积(厘米^2)；Δt_1——仪表工作时和小室充油时油的温度差（℃）.

温度誤差的第二个組成部分比第一个小得多，可按下式計算：

$$\Delta p_2 = \frac{A\alpha l \Delta t_2}{F}, \qquad (2)$$

其中 α——联杆綫膨胀系数（1/℃）；l——联杆长度（厘米）；Δt_2——联杆与紧束螺杆的温差（℃）。

計算与試驗表明，可以設計出足以保証发送器达2.5級的这类結构．双折箱式压力表的典型刻度列于图5．

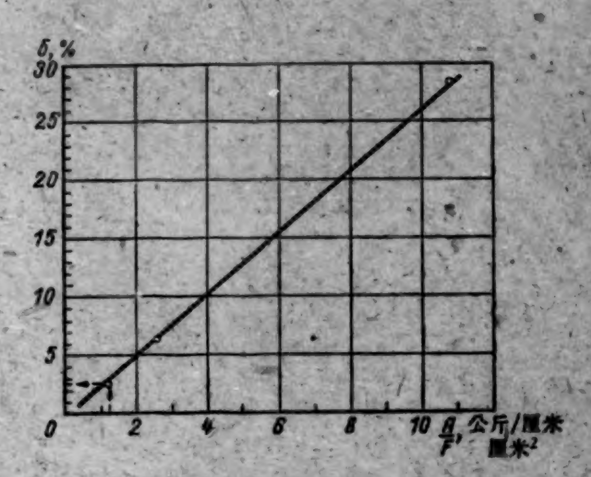


图4 压力表刻度改变和折箱刚度与其横截面面积之比之間的关系

流 量 計

曾經企图用带有薄膜式感应差压表的节流式流量計来測量鈉的流量，結果沒有成功．这种差压表的脉冲管在工作时很快就被氧化物所堵塞．轉子流量計也因为带有柱塞的管道被堵塞而很快損坏．

最簡单而可靠的流量計是磁流量計．仪表的工作原理在于測定液态金属在磁場中流动时所产生的电动势．为液态鈉冷却的БР-5核反应堆[3]的主迴路所設計的、具有永久磁鉄的磁流量計的全貌图示于图6．

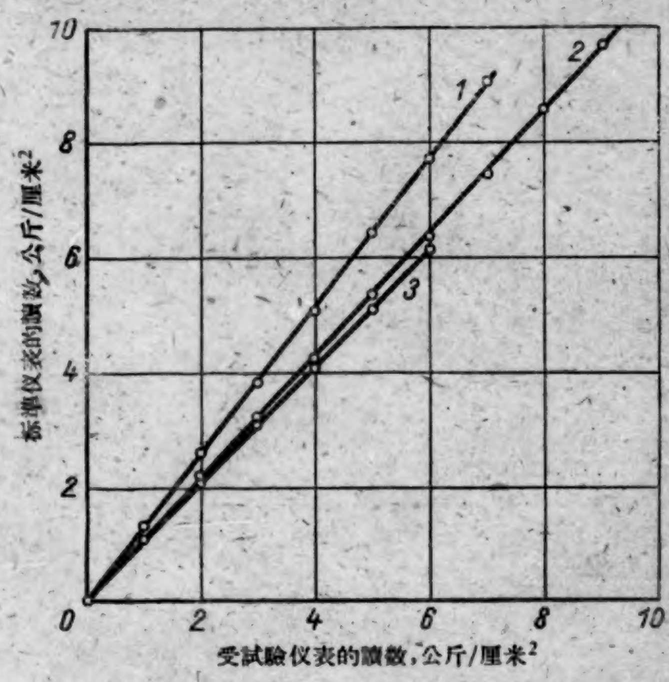


图5 折箱刚度不同时双折箱式压力表的刻度，当 A/F（公斤/厘米³）値为：1——10.7；2——3.6；3——1.25

图6 鈉的流量达200米³/小时的磁流量計

流量計內产生的电动势按如下方程計算：

$$E = 0.1 B v d k_1 k_2 k_3, \qquad (3)$$

式中，B——磁极間的感应強度（高斯）；v——金属在管道內的平均速度（米/秒）；d——管道直径（米）；k_1——考虑到管道壁分路影响的系数；k_2——考虑到磁場尺寸有限的系数；k_3——考虑到由于磁鉄系統发热而引起的縫隙內感应強度变化的系数．

$$k_1 = \frac{2\frac{d}{D}}{1 + \frac{d^2}{D^2} + \frac{\rho_{ж}}{\rho_{ст}}\left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)}; \qquad (4)$$

$$k_3 = \frac{1 - \alpha_м(t_м - 20)}{1 - 6.95 \cdot 10^{-6} \frac{b}{a} (t_м - t_{oc})}. \qquad (5)$$

式中，D——管道外径；d——管道内径；$\varrho_ж$，$\varrho_{ст}$——分别为液态金属及管壁的比电阻；d——感应強度改变的温度系数；$t_м$，t_{oc}——分别为磁极及底座的温度；a，b——分别为縫隙及軛鉄的长度.

磁流量計讀数的稳定性主要取决于磁鉄材料的質量，取决于它在长时間高温条件下保持其性能的能力.

我們采用了馬格尼哥（Магнико）合金．用此合金制成的磁鉄，其縫隙內感应強度与温度的关系，根据两个不同研究的結果，表于图7中．磁鉄放置于炉中，应使其各部分温度相同．在工作条件下，磁鉄內温度分布是不均匀的．在磁极附近由于靠近液态金属管道，磁鉄温度較高．例如，当液态金属温度为620°C时，磁极对着管道的表面上的温度达200—220°C，而軛鉄的温度是80°C．因为磁鉄平均温度低于200°C，所以感应強度的改变不大，而系数k_3应該認为等于1．这也为流量計的刻度（在温度为200及450°C时进行的）所証实，在刻度过程中并沒有发現与温度有何关系.

使磁鉄工作稳定，具有很大意义．当装配与磁化完毕后，把磁鉄的磁性減退5—10%，并

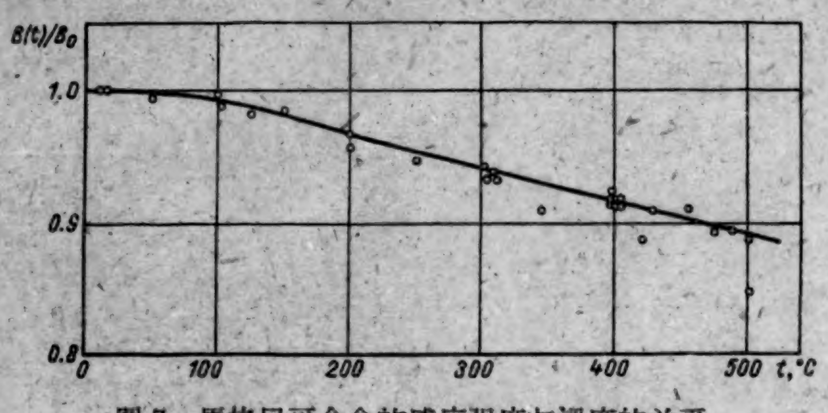


图7 馬格尼可合金的感应强度与温度的关系

在300°C温度下加热一昼夜，然后，用0.1公斤的力量对磁鉄进行冲击，并沒有引起感应的显著改变.

对于三个在平均鈉温为400°C的鈉介質中工作流量計的刻度变化进行了一年的观察．观察結果表明，在头七个月中，磁鉄縫隙內的感应強度每月減低1%，而在以后的几个月中，每月減低0.5%，甚至于更少.

当液体进入磁場时，在其边緣附近，在几乎与磁場垂直的平面上，产生电流，它使磁鉄原来的磁場产生畸变，并导致輸出信号的減弱．为估計这些边緣效应，米歇利（Мишель）建議引入系数k_2，这个系数取决于磁极端头的长度与管道内径之比．我們的試驗沒有証实上述$k_2 =$ $= f(L/d)$的关系，所以磁流量計中边緣效应对其讀数的影响，需要进一步研究.

为了測定电极在管道上焊接的不精确所产生的影响，沿管道的周边及母綫上焊了几对电极（图8）．电极間电动势測量結果如下表.

試驗結果表明，在直径111毫米的管道上，电极沿金属运动方向偏移10毫米，并不改变仪表的讀数．一个电极沿圓周偏移15°所引起的信号減弱小于3%.

方程(3)仅对于液体的对称流动是成立的．局部液流阻力会破坏液流的对称，并且使輸出信号发生正向或負向的偏差，这在文献[4]中已被闡明．在該文献中亦表明，流量計应該安装在与液流局部破坏处相距不小于15倍管径的地方．我們发現，当流量計安装在与导管作90°

轉弯处相距 7 倍直径的地方时，信号减弱 2.5%.

电 极	电位差，毫伏	电 极	电位差，毫伏
1—1′	32.0	6′—7	33.0
a—a′	34.5	2—2′	34.5
a—6′	33.5	3—3′	34.0
a′—6	34.0	4—4′	33.0
6—6′	33.5	5—5′	31.5
a′—7	33.7		

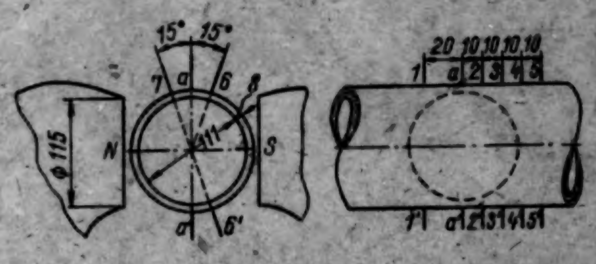


图 8 电极在管道上的焊接图

磁流量計工作的开始阶段，輸出信号偏弱，这是由于接触电阻的存在以及管道內表面沒有潤湿性的緣故。工作一段时間后，以及当温度升高时，鈉-不銹鋼的接触电阻变小，流量計的讀数就稳定了。从图 9 可以看到，当載熱剂流量不变时，两个流量計的讀数（E_1 及 E_2）如何随金属温度升高而变化。所以在用新的仪表进行測量之前，建議把含有金属的那部分管道在一小时之內加热到 300℃。

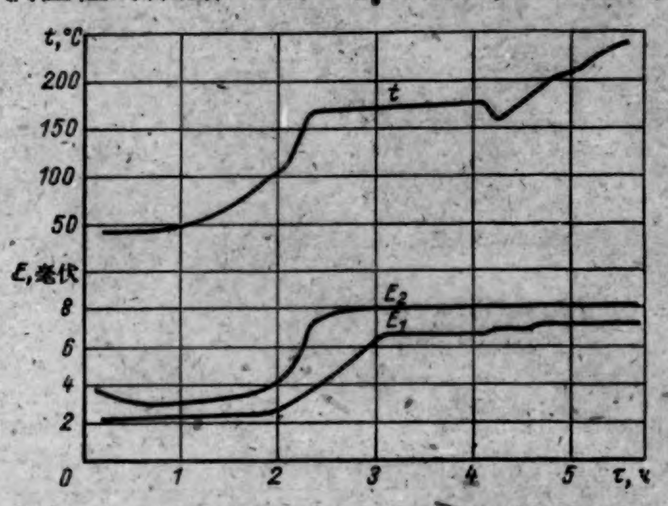
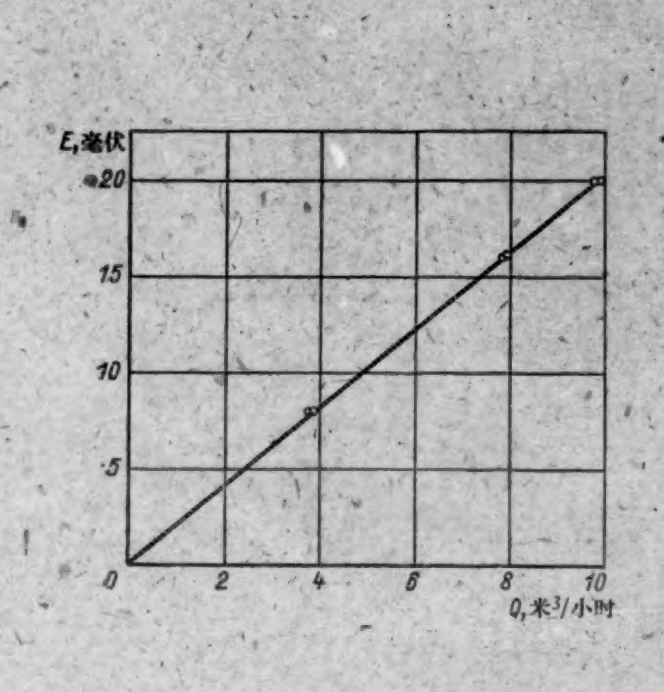


图9 因管道內表面接触电阻而引起的两个磁流量計讀数的改变

图 10 中列出了为 БР-5 反应堆而制造的，計算鈉流量 Q 为 10 及 200 米^3/小时的流量計的刻度特性。第一个流量計是借助于具有电接触式液位信号器的量桶，用容积法进行刻度的。量桶充滿的时間用电秒表ПВ-52測定。磁鉄縫隙內的感应強度为 1800 高斯；$k_2 = 0.865$；$k_3 = 1$。流量为 200 米^3/小时的流量計，是借助于两个通过隔离箱而接入的不同精确度的差示压力表，用文都利（Вентури）管进行刻度的。这个流量計磁鉄縫隙內感应強度的測量表明，感应強度在縫隙內是不均匀的



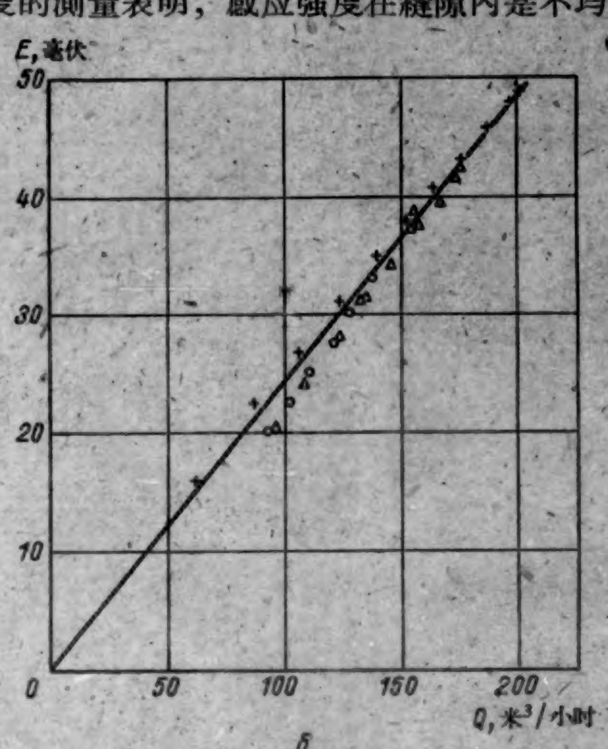


图 10 磁流量計的刻度

a——流量为 10 米³/小时；б——流量为 200 米³/小时；○——$t = 160$℃
+——$t = 245$℃；△——$t = 385$℃

(图 11). 流量計是根据平均积分感应强度

$$\bar{B}=\frac{1}{D}\int_{-\frac{d}{2}}^{+\frac{d}{2}}B\,dl$$

来計算的. 当平均积分感应强度为 840 高斯时, 其最大値达到 950 高斯. 从图 10 可以得出, 假如取定 k_2 及 k_3 等于 1, 则流量計的計算特性与試驗特性相符.

由于在磁鉄两极之間的管道內鉄与鎳的沉积,磁流量計的刻度可能发生改变. 图 12 所示为磁流量計的直径为 27 毫米的管道在工作 1000 小时后的照片. 照片中清楚地看到磁鉄两极之間强磁性物质粉末的聚积. 流通截面的減小引起液体速度的增长和輸出信号增强 12.5%.

在鈉及鈉鉀合金迴路中大量磁流量計操作的經驗表明:这种流量計高度可靠、足够精确以

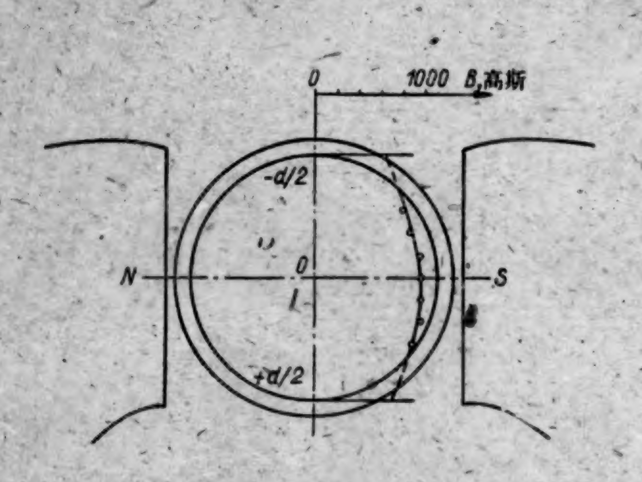


图 11 磁鉄縫隙內感应强度的分布


图 12 流量計磁鉄两极之間强磁性物质粉末的沉积

及操作簡单. 因此,可以推荐磁流量計应用于工业装置上. 对于这样的流量計,可以有效地利用普通实驗室型的电位計(ПП 及 ППТН) 以及盘式电位計 (ЭПВ, ЭПП-90, ПСР 及其他) 作为二次仪表.

液 位 計

最簡单的液态金属液位信号器, 是絕緣地通过液态金属儲存箱頂盖而引入的杆子. 杆子用填料密封. 当杆子触及金属表面时,电路就接通,电灯及电流表都投入工作. 这种接触式液位計的巨大缺点在于絕緣体的使用期很短. 鈉或鉀的蒸气凝固在絕緣体的表面, 因为一般說来,絕緣体的温度低于箱內金属的温度,而液位計就逐漸損坏.

也曾經試驗过另一种液位計, 其原理是电路电阻因金属液位的改变而改变. 金属液位的升高接通了浸入箱內的部分电阻. 测量电路电阻, 就可以确定金属液位. 仪表的原理图相当簡单. 这种液位計的主要缺点是仪表讀数不稳定, 这是由于当金属被排走时留下的液态金属膜所引起的. 接触电阻与鈉或鈉鉀合金受氧化物沾污的程度有很大关系. 这种发送器只有在利用除淨了氧化物的金属时才能工作.

放射性液位計能保証連續地无触点地測量液态金属液位. 目前我国工业所生产的仪表 УР-4 能測量液位的范围达 2 米,容积直径达 1.5 米. 在这个仪表中, 对通过气—液分界面以上及以下的 Co^{60} 的 γ 射綫通量进行比較. 这个液位計可以成功地应用在实驗室及工业用的装置上. 仪表的缺点在于測量柱很庞大,同时,它不能应用在放射性液态金属的工作中.

超短波液位計是在发送器中不带可移动部分的液位計. 它的作用原理在于超短电磁波从液体表面反射及在同軸电纜中形成駐波. 同軸电纜的延續部分被用作仪表的发送器, 它是降

入液态金属内的金属管道．在管道中心通过絕緣杆．用自补償方法测定电纜内极小駐波的位置．这个仪表在液态金属温度不超过200—250℃时能長期工作．当温度更高时，鈉蒸气凝固于絕緣体上，仪表的正常工作就受到破坏．

如果把一个薄壁金属管浸入液态金属内，并且通上电流，在金属液面以下的那段金属管上的电压降将比同样一段在金属液面之上的金属管的电压降要小得多．可以建立一个跟踪系統，它将自动地测定金属管上电压梯度驟然改变之点．基于这个原理的液位計是高列斯尼可夫（В. Л. Колесников）所提出的，他把它称为电位計式液位計．液位計（图13）的发送器是薄壁管1，由变压器2供給低压交流电．发送器的管內，按其長度均勻地焊有把发送器与二次仪表的分段电阻（滑綫变阻器）3連接起来的导綫．滑綫变阻器上的电位分布与测量管上的电位分布是相当的．信号是由滑动托架4的两个滑触头取下的．滑綫变阻器及两个相同的电阻R_1及R_2組成电桥綫路．当液态金属液位改变时，a、b两点之間的电压也改变（b点与位于金属液面之上的引出点相对应），因而产生不平衡信号，它以相当的相位传給放大器6的出口．这就迫使伺服机5把托架4沿着滑綫变阻器3往減小不平衡的方向移动．在結构上，发送器（图14）是不銹鋼制的薄壁管1，其內部等距离地焊有垫圈2及套管3．从垫圈及套管引出导綫去联接插头6．薄壁管1的上端焊接于轉接管5上．轉接管的高度是这样选定的，即是使得管1的上部两段恆高出于金属液面．液位計通过法兰盘4与箱相連接．液位計的二次仪表可以是任何的自动电桥或电位計，其由滑綫变阻器、两个滑动托架上的滑触头及两个不变电阻所組成的测量部分的結构可以改变．滑綫变阻器由1400圈瓷漆絕緣的錳鎳銅合金絲組成，每隔200圈焊有分支綫．仪表刻度的直綫性質是靠滑触头間的等距以及滑綫变阻器的分支綫間的等距而保証的．

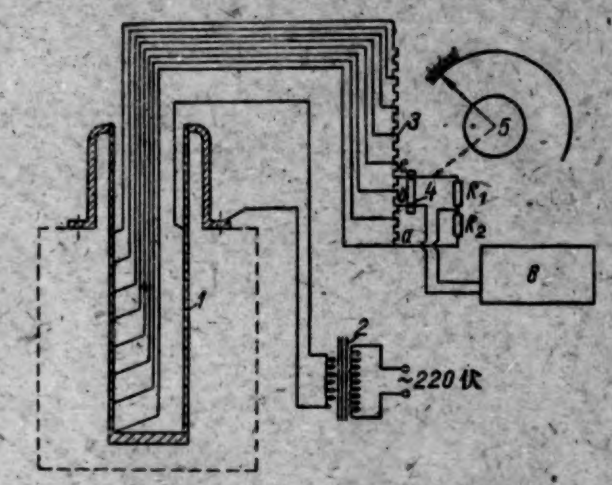


图13 电位計式液位計的原理图

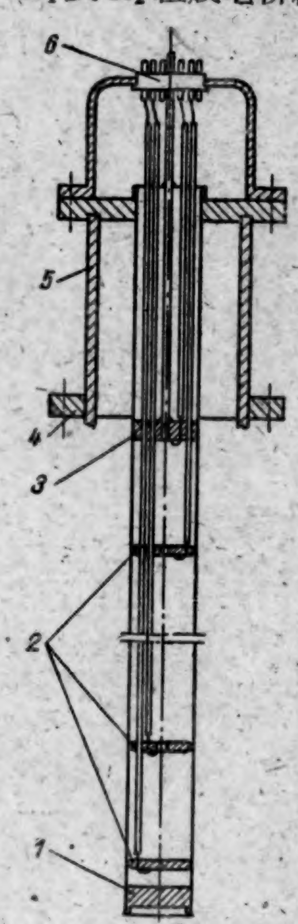


图14 电位計式液位計发送器的結构

电位計式液位計在鈉鉀低熔合金中，在温度为200，300及450℃的情况下进行了試驗．为检查起見，利用了装在受試驗发送器的法兰盘上的探針．在試驗过程中取得了当液态金属液位改变时液位計讀数与检查探針讀数間的关系．讀数的稳定性在一定液位上进行了長时間的試驗．試驗結果确定，在很大范围內的温度改变并不影响仪表的讀数．鈉鉀合金中氧的重量含量曾达到0.1%，这也沒有影响到仪表的特性．当長期利用含有大量的飘浮在表面上的氧化物的液态金属进行工作时，氧化物会粘附在发送器管子上，这可能导致讀数錯誤．

参 考 文 献

[1] Жидкометаллические теплоносители. Перев. с англ. под. ред. А. Е. Шейндлина. М., Изд-во иностр. лит., 1958.

[2] С. С. Кутателадзеи др: Жидкометаллические теплоносители. М., Атомиздат, 1958.

[3] А. И. Лейпунский: Тр. Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Докл. советских ученых. Т. 2—Ядерные реакторы и ядерная энергетика. М., Атомиздат, 1959, стр. 215.

[4] J. Shercliff: *J. Scient. Instrum.*, **32**, No. 11, 441 (1955).

用脉冲法測量石墨內的中子龄[1)]

德罗烏格（З. Длоугы）

（捷克斯洛伐克科学院原子核問題研究所，布拉格）

利用置放于稜柱中的脉冲中子源，測量了石墨內 $D—D$ 和 $D—T$ 反应的热中子龄．由热中子密度与时間的关系計算出了 $D—D$ 中子的有效年龄 $\tau_{有效}=355\pm9$ 厘米^2，該值換算为石墨的密度等于1.6克/厘米^3．

$D—T$ 中子在石墨中的慢化可以近似地用两組中子来表达：一組是在慢化过程中仅仅只遭到一次非弹性碰撞（$\tau_{有效}=600$厘米^2）的中子；另一組是遭受了若干次非弹性碰撞的中子（$\tau_{有效}=240$ 厘米^2）．在确定年龄 τ 时，所用到的这两組中子的相对貢献分别等于 0.65 与 0.25．第三組中子是那些仅由弹性碰撞而得到慢化的中子．在一級近似中，这类中子可以忽略，因为它們的貢献不大（大約为 0.1），而年龄非常大．

引　　言

在計算和設計核反应堆时，中子在慢化过程中距源的平方距离的平均值起着重要的作用．因为慢化后的中子的空間分布决定于它的标志年龄，所以年龄和扩散系数 D 的測量是有巨大意义的．

設計反应堆时，为了測量中子的年龄，在大多数情况下需要利用一个发射裂变中子的恆定源，而慢化中子的空間分布要用共振探測器（例如用銦作的探測器，銦在能量为 1.44 电子伏时有共振峯）来測定．在計算热中子反应堆时，很明显，利用慢化到热能的年龄数值能够取得好的結果．到达热能的年龄通常是由測量迁移面积并由其中减去扩散长度的平方而得到的．也可以用吸收物質使介質"中毒"的方法把扩散影响大大減少后来測量．但这种复杂的方法在測量时有些不精确．

应該注意到，中子在鈾-石墨反应堆中的平均寿命（大約 1000 微秒）比起它慢化及达到热平衡速度譜所必須的时間是不大的．用脉冲源的方法能够直接确定标志年龄与时間的关系．这个方法的优点在于：它可以得到从开始慢化直到达到热扩散为止这段时間間隔中有关中子性質的詳細資料．这样，就可以在一段具有重要意义的时間間隔里观察热中子由慢化到扩散的逐步过渡．因此，本工作的目的是：用放置在稜柱內的脉冲中子源測量中子在慢化剂中的年龄和扩散系数[1]．实驗的布置应尽可能地接近单能中子点源在单向无限伸张介質中的理想情况．

理　　論

在測量从脉冲中子源得到的中子的年龄时，可以利用两种方法．一种方法在文献[2]中已經敘述过，在这篇文献中，根据热中子起始密度与表征慢化剂特性的几何因子的关系，确定了中子在水中的年龄．慢化剂的尺寸要选择成这样的：使得在足够大的时間內仅仅对中子密度分布函数的一次諧波是重要的．这种方法的优点在于：它要求使用数量較少的慢化物質．然

1) 本工作系由苏联科学院列别捷夫（П. Н. Лебедев）物理研究所完成．

而它不能給出起始时刻的中子扩散的确切資料，因为高次諧波的出現使得扩散的描述复杂化．因此，正象利用恆定中子源的方法一样，用这种方法难以得到在由慢化过渡到热扩散过程的資料．在文献[1]中所叙述的另一个方法，建議应用无限长的稜柱来进行测量．在稜柱中心閃发单能快中子，然后这些快中子便在稜柱內慢化和扩散．我們在测量中利用了这种方法．

稜柱是一个直角平行六面体，截面为 b_0c_0．为了保証系統（沿 x 軸方向）的无限伸张性，需要利用稜柱，其长度 a_0 至少要超过扩散长度 L 3—5 倍．

利用費米年龄理論就容易获得由单能快中子脉冲点源得到的慢中子密度 $n(x, y, z, t)$ 的表达式

$$n(x, y, z, t) = \text{const}\frac{1}{\sqrt{\tau(t)}}e^{-\frac{x^2}{4\tau(t)}} \times \Phi(y, z, t)e^{-\frac{t}{T_c}}, \tag{1}$$

式中 T_c 是中子在慢化剂中的平均寿命，它由吸收情況来决定，$\tau(t)$ 是所謂的广义中子年龄．

因子 $\Phi(y, z, t)$ 与坐标 x 无关．在給定的时間 t 测量了点 (x_1, y, z) 与 (x_2, y, z) 的中子密度后，由公式(1)我們可以得到广义年龄的表达式[1]

$$\tau(t) = \frac{x_2^2 - x_1^2}{4\ln\frac{n(x_1, y, z, t)}{n(x_2, y, z, t)}}. \tag{2}$$

在导出公式(2)的时候，对于时間值不需要附加任何限制．如果仅仅年龄方程的可应用性条件得到满足的話，这个表达式对任何时間都是正确的．

广义年龄可以写成

$$\tau(t) = \int_0^t D(t)dt. \tag{3}$$

如果中子与介质达到热平衡，那么，扩散系数 $D(t)$ 应該为常数 D_T，因而对于大的时間来說，年龄可以写成

$$\tau(t) = \tau_{\text{эфф}} + D_T t.$$

这样一来，当时間大时，广义年龄与时間的关系是綫性的．将这条直綫外推到 $t = 0$，便得到年龄的有效值．应用有效年龄就可以利用通常的近似方法，在这种近似法中慢化过程被当作是瞬时的，而扩散系数等于 D_T，并与时間无关．

实驗装置的描述

为了测量年龄及扩散系数，用大小为 330 × 120 × 70 厘米的石墨块堆砌了一个稜柱（图1）．石墨的平均密度为 1.67 克/厘米³．

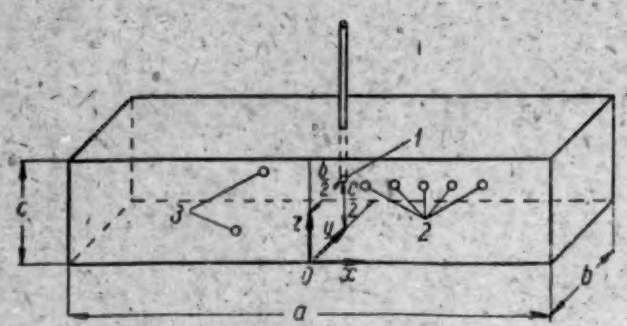


图 1 石墨稜柱的几何形状

1——中子源（加速管的靶）；2——测量热中子密度的計数管位置；3——监守器．

稜柱位于房屋中心．稜柱的軸沿水平安置．由稜柱表面到壁的距离大于 180 厘米，距地板 100 厘米．放在金属和木架上的稜柱用一层厚 1 毫米的鎘片复盖，以便消除稜柱外所散射的热中子的影响．

在稜柱中心放置着中子源——鋯-氚靶或鋯-氘靶氘核束投射到靶上．氘核用苏联科学院物理研究所的直流 240 仟伏高压离子管来加速．为了将中子源放入稜柱內部，在石墨內开了一个长 40 厘米的垂直孔道，孔道內紧紧地插着一根靶的黄銅管（直径 2.8 厘米，壁厚 0.8 毫米）．靶安

置在两个氟塑料制的环之間.

为了得到調制的束流，在别宁格(Пеннинг)型离子源的阳极上附加了 0.8—1.2 仟伏寬度为 5 微秒的脉冲，跟踪频率 62—625 赫芝．以脉冲形式打到靶上的氘核流的寬度約为 8 微秒.

氘核束在磁場中飞行途中受到偏轉，仅仅純的原子离子束可以用于靶上反应．在这种情况下，直径为 10 毫米的靶上的平均离子流为 1.5 微安．因为靶上的平均离子流弱，所以不要求水冷却(如果有水会給测量带来附加誤差)，这就可以使靶保持較小的尺寸．中子产额是用放在石墨中的两个硼計数管(监守器)和一个由 $D—T$ 反应記录 α 粒子的正比計数管来测量的.

为了保証良好的分辨率及不严重破坏被研究介質的均匀性，使用了特殊的小型硼正比計数管，其直径 10 毫米，长 100 毫米，計数管封装在鋁管中．把計数管放入石墨稜柱后，有一个石墨砖块的密度降低了 0.8%．测量中子密度的地点与靶相距 15，35，55，75，95 厘米．計数管放入水平孔道內，这样一来，其軸垂直于源的方向．沒有中子計数管的孔道装满了石墨棒．計数管在坐标 x 与 z 上的位置不确定量小于 0.1 厘米，在 y 坐标上的位置不确定量为 ±0.2 厘米.

来自計数管的脉冲被寬頻放大器放大，并輸到施特拉尼赫(И. В. Штраних)与馬塔林-斯魯茨基(Л. А. Маталин-Слуцкий)所設計的可調道寬(1—80 微秒)的 100 道时間分析器中去．分析器按照相对于中子閃发所延迟的时間来分析脉冲．这个装置的主要綫路与文献[1]所描述的类似．脉冲由石英振蕩器送达分压器，然后再送到脉冲成形綫路．由那儿再通过两个阴极跟踪器，同样的脉冲用来控制中子的閃发和触发时間分析器.

測　量　結　果

根据公式(2)算出了 $D—D$ 中子到达热能之前的年齡值．为此曾在离快中子源的几种不同距离处测量了热中子密度与时間的关系．因为热中子密度可以用方程式(1)来表达，所以曲綫的形状与时間以及与源的距离有关.

图 2 是根据公式(2)由实驗数据計算出的年齡与时間的关系曲綫．在图 2 的右面部分单独用較大的比例画出了曲綫 $\tau(t)$ 的起始部分．由图可見，曲綫 $\tau(t)$ 起初急剧地上升，然后漸近于直綫．由等式 $D=\frac{d\tau}{dt}$ 得到：扩散系数随时間减小，趋近于一个常数．大約 $t=1000$ 微秒方达到这个常数，并且 $D_T=(2.03\mp0.08)\cdot10^5$ 厘米^2·秒$^{-1}$(图 3 是扩散系数与时間的关系曲綫).

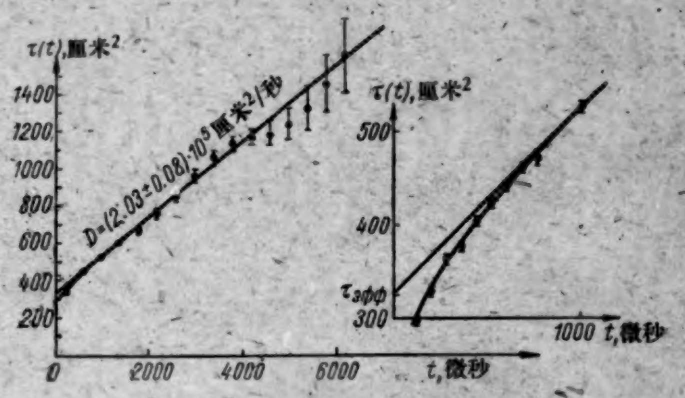


图 2　$D—D$ 中子的年齡与时間的关系

图中可以看到，当时間值小时，由于扩散系数 Dt 的增加而产生的較外推直綫的偏低部分．年齡的测量是在距源为 15，35 与 55 厘米处进行的.

换算了石墨的密度为 1.6 克/厘米^{3}时的常数后，我們得到 $D_T=(2.12\pm0.08)\cdot10^5$ 厘米^2·秒$^{-1}$.

要想从图 2 的曲綫很精确地定出扩散系数是不可能的，因为在时間值小的地方并不大的統計誤差增长得异常迅速，在 4 微秒时已經达到 5—10%．因此可以認为我們测得的結果是令人滿意的.

年齡曲綫外推到 $t=0$ 可以得到 $\tau_{有效}=325\pm8$ 厘米^2，这相当于当石墨密度为 1.6 克/厘

米^{2}时 $\tau_{有效} = 355 \pm 9$ 厘米^2. D—T 中子年龄的测量是一个較 D—D 中子更复杂的过程. 当时間小时在离源不同距离处的几对不同地点所测量的,按照公式(2)而計算出的年龄曲綫(图4)彼此不相符合. 因此用一个年龄不可能单值地描写这个慢化过程. 下面我們將較詳細地分析 D—T 中子的慢化过程.

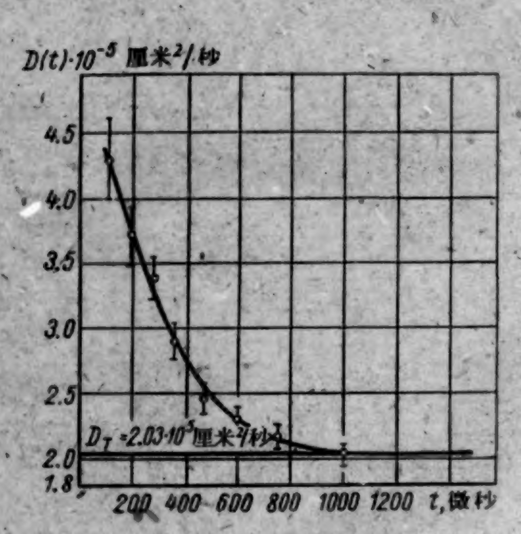


图 3 扩散系数与时間的关系

$D^2(t)$ 以张弛时間 $t_r = 195 \pm 35$ 微秒指数地趋向 D_T^2

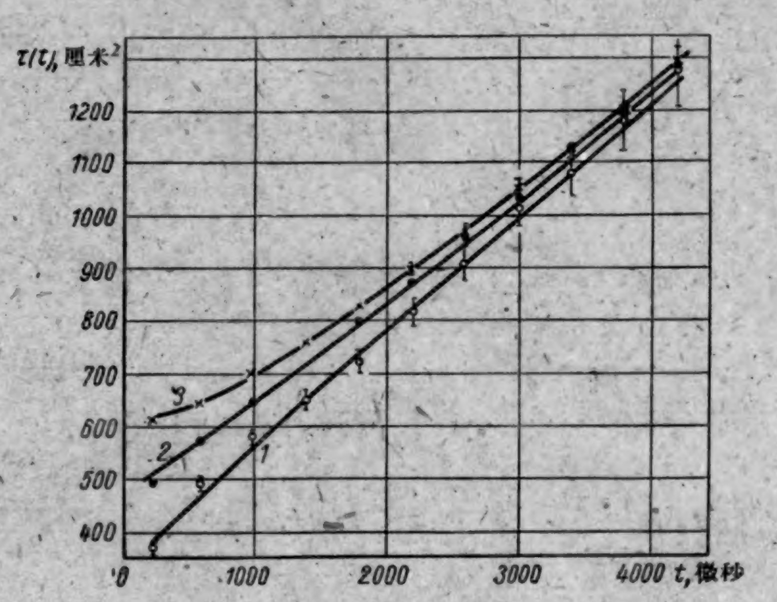


图 4 D—T中子的年龄与时間的关系

☒是距离源 15 与 35 厘米远的测量結果,与考虑年龄为 τ_1 及 τ_2 的二羣中子在同样的距离下而計算出的曲綫 1 很符合.

●——距离为 15 及 95 厘米及計算曲綫 2 时的实验点

×——距离为 75 与 95 厘米的实驗点及計算曲綫 3

D—D 中子测量結果的討論

中子的慢化和扩散过程可以假定分为三个阶段.

在相应于中子能量較大的(即慢化时間短)第一个阶段, 慢化是在自由核上进行的. 一次碰撞的能量平均对数縮減与能量无关. 在这个能量区域, 对于原子量不太小的一些慢化剂說来,起始能量为 E_0, 被慢化到能量为 E 的单能中子的年龄是由下式来确定.

$$\tau(E) = \int_E^{E_0} \frac{\lambda_s(E)}{3\xi(1-\overline{\cos\theta})} \frac{dE}{E}, \tag{4}$$

式中 λ_s 是自由路程长度; $\overline{\cos\theta}$ 是在实驗室坐标系中的散射角的平均余弦.

然而, 当中子的温度达到接近于慢化剂的原子在晶体点陣中的結合能时(約为 $5kT_0$), 可以認为中子过渡到了另外一个阶段. 从理論上来确定慢化剂的晶体点陣中原子結合能的影响是困难的,但是,考虑到这种原子的慢化作用較自由原子小,可以假定,中子的年龄实际上会超过[按照公式(4)]所希望的,并且純粹的热中子扩散将过很久才出现.

如果用温度T来表征未被完全慢化的中子的平均能量, 那么可以假定[3], $\frac{dT}{dt} = -\nu(T - T_0)$, 即温度的衰減速度与$T$和介質温度 T_0 間的差成正比. 在这种情况下, 高于介質温度的中子温度将按指数定律 $e^{-\nu t}$ 而減低. 这时扩散系数将趋向于 D_T, 而年龄与时間的关系将变为綫性关系(第三阶段). 图 2 的曲綫起始部分可以用来决定系数 ν (見图 3), 因为扩散系数的平方正比于中子的瞬間温度(假定,由 1 电子伏至热能的区間里 λ_{tr} = 常数). 由实驗数据得出:中子的温度 $T(t)$ 随着张弛时間 $t_r = \frac{1}{\nu} = 195 \pm 35$ 微秒指数地趋近其平衡値. 这个結

果与文献[4,5]中所作的测量結果相符，在这两篇論文中，通过使中子穿过鈹过滤器的方法研究了中子温度趋近于平衡状态的过程。

当把我們的結果与用恆定源方法所作的实驗結果比較时，应該注意到以下所講的情况．用各种不同的共振探測器所得到的能量超过 0.1 电子伏的中子年龄的数据，应該服从关系(4)，如果把这个关系放在时間标度上的話，則它应該与我們測到的曲綫起始部分相符． 可是在确定到达热能的中子年龄时，文献[6]的迁移面积的測量結果以及从其中減去扩散长度的平方的結果却不一样．这样測出的年龄值等于将实驗曲綫 $\tau(t)$ 相应的部分用直綫外推到时間为零时所得到的值．这样可以測出 $\tau_{有效}$．在短时間下，用共振探測器測量获得的 $\tau_{有效}$ 的眞正值低于外推直綫．

这样，从測量迁移面积而得到的 $\tau_{有效}$应該与用脉冲方法所得到的 $\tau_{有效}$值相比較．可是应該注意到：仅在年龄与时間关系曲綫的直綫部分，即当 $t > 1000$ 微秒，扩散系数不变时，把 τ 外推到 $t = 0$ 时所得的結果才是单值的．实际上，在反应堆物理中，較小的一段时間起着重要作用．因此，严格地講，$\tau_{有效}$的概念是不十分确定的．只有用脉冲法所作的測量才有可能追踪随时間变化的年龄的眞值．

D—T 中子年龄的測量

我們曾試图用計算 *D—D* 中子年龄值的方法来算 *D—T* 中子的年龄值．前面曾經指出：当时間值小时根据公式(2)不可能計算出确定的年龄值，因为所得到的年龄曲綫随着測量热中子密度时离源的距离不同而各有差异．这是很自然的，因为 *D—T* 中子源放出能量为 14.1 兆电子伏的中子，这种中子不仅在弹性碰撞时，而且在非弹性碰撞时也会損失本身的能量．

众所周知，14.1 兆电子伏的中子在石墨中慢化时能够同时产生三种不同的过程：1)弹性散射 $C_6^{12}(n, n')C_6^{12}$；2)非弹性散射 $C_6^{12}(n, n')C_6^{12*}$；$C_6^{12*} \to C_6^{12} + r$；3)非弹性散射 $C_6^{12}(n, n')3a$．这两个非弹性过程都严重地影响着年龄值，并使慢化过程复杂化． 过程 2)的閾能在 4.41 兆电子伏的能量范围内[7]，过程 3)的閾能在 7.7 兆电子伏范围内．

如果考虑到，在慢化过程中不是所有的中子都遭到同样次数的非弹性碰撞过程，而非弹性碰撞过程 3)丢失的能量大大超过非弹性碰撞过程 2)所丢失的能量．那么，为了精确地描写 *D—T* 中子的慢化过程，不能只用一个年龄，必須至少要考虑到属于不同年龄的两組中子，就是很明显的事了．

在这种情况下，由 *D—T* 源发出的热中子密度应該遵从关系式

$$n(x, y, z, t) = \text{const}\, e^{-\frac{t}{T_c}} \times \left[\frac{a_1}{\sqrt{\tau_1}} e^{-\frac{x^2}{4\tau_1}} \Phi_{\tau_1}(y, z, t) + \right.$$

$$\left. + \frac{a_2}{\sqrt{\tau_2}} e^{-\frac{x^2}{4\tau_2}} \Phi_{\tau_2}(y, z, t)\right], \qquad (5)$$

式中 $\Phi_{\tau_i}(y, z, t)$ 是与 x 坐标无关的項．看来，为了定出年龄值，由式(5)得不出一个类似于(3)的表达式．可以假定，年龄 τ_1 决定(在慢化过程中仅仅只遭遇到一次弹性碰撞的)中子的行为，这样小的年龄 τ_2 便应該表征所有其余遭受到多次非弹性散射的中子的平均行为．要精确地把中子分为这样两組是困难的，但这样一个事实是很清楚的：在离源距离小的地方，最初一段时間(直到 1000 微秒)热中子的分布应該基本上决定于年龄 τ_2，而在相当大的一段距离内，年龄 τ_1 起着很大作用．这样便可以求出 τ_1 与 τ_2 的近似值．

但是，为了更精确地测定年龄 τ_1 与 τ_2，就需要了解表达式(5)中相应各項的貢献，即：需

要了解 $\frac{a_1\Phi_1(y, z, t)}{a_2\Phi_2(y, z, t)}$. 因为可以認为 $\Phi_{\tau_2}(y, z, t)$ 这項正比于 $e^{-\omega^2\tau_i}$, 式中 $\omega^2 = \pi^2\left(\frac{1}{b^2}+\frac{1}{c^2}\right)$（我們只从描写 y 方向与 z 方向衰減的諧波和中取头一項），所以主要的問題在于决定 $\frac{a_1}{a_2}$ ($b = b_0 + 2\cdot 0.71\lambda_{tr}$; $c = c_0 + 2\cdot 0.71\lambda_{tr}$). 我們曾試图由 1) 2) 3) 諸过程的有效散射截面与能量的关系来决定比 $\frac{a_1}{a_2}$[8]. 由于对这些截面与能量的关系以及中子的非弹性散射譜沒有精确测量过，所以测定 $\frac{a_1}{a_2}$ 比值的誤差較大. 如果应用由这种方法得到的近似的比值 $\frac{a_1}{a_2} = \frac{0.65}{0.25}$, 那么将式(5)与测到的年龄曲綫相比較就可以近似地估計出年龄 τ_1 与 τ_2. 在这种假設下求出的值 $\tau_{1有效} = 600$ 厘米^2, $\tau_{2有效} = 240$ 厘米^2, 只能認为是經驗常数. 它們定性地相应于(14.1 兆电子伏中子在石墨中散射所应出現的)两組非弹性散射中子的能量[9,10].

更精确的研究表明，除了年龄为 τ_1 与 τ_2 的两組中子外，在表达式(5)中还应該用到描写年龄为 τ_3 的中子組的第三項，这一組应該决定那些只由弹性碰撞来慢化的中子的行为. 这些中子的年龄非常大 ($\tau_3 \cong 900$ 厘米^2)，它們沒有什么太大的意义，因为它們的貢献仅仅約 10%，并且由于較大的 τ_3 值，$\Phi_{\tau_3}(y, z, t)$ 很小. 因此，我們看来，实际上两种中子年龄能足够表示 $D—T$ 源的中子在石墨中的行为.

最后，由于苏联科学院通訊院士弗兰克 (И. М. Франк) 对研究題目作过建議，經常关心这个工作并在討論这个工作中提出有益的意見，作者在此表示謝意.

参 考 文 献

[1] И. М. Франк: Отчет ФИАН СССР, 1955 г.; Антонов и др. Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1955), т. 5, М., Изд-во АН СССР 1958, стр. 11.
[2] Романна и др: Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. (Женева, 1955), т. 5, М., Изд-во АН СССР, 1958, стр. 35.
[3] G. Dardel: *Trans. Roy. Inst. Technol.*, No. **75** (1954).
[4] А. В. Антонов и др: Физика и теплотехника реакторов. Приложение № 1 к журналу «Атомная энергия». М., Атомиздат, 1958, стр. 82.
[5] K. Beckurts: *Nucl. Sci. and Engng*, No. **4**, (1957).
[6] Даггал, Мартелли: Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1955), т. 5, М., Изд-во АН СССР, 1958, стр. 40.
[7] J. Anderson, et al: *Phys. Rev.*, **111**, 572 (1958).
[8] M. McGregor, R. Booth: *Phys. Rev.*, **112**, 486 (1958).
[9] B. Whitemore: *Phys. Rev.*, **92**, 654 (1952).
[10] E. Graves, L. Rosen: *Phys. Rev.*, **89**, 343 (1953).

論迴旋式加速器中束流的高頻积聚[1)]

列别捷夫 (А. Н. Лебедев)

在恆定磁場加速器的高頻积聚束流的理論中,十分重要的問題是要考慮到已經积聚的束流受到下一次加速循环的扰动. 这样的扰动主要地会引起已积聚粒子的能量分散的增长并改变它們的平均能量. 本文提出了这一問題的一般討論以及在一些个别情况下的解决方法.

1. 运 动 方 程

粒子能量的变化最好把它看作是下列无量綱变数的函数来研究.

$$z = \frac{2\pi Q}{eV}\int_{E_0}^{E}\frac{dE}{\Omega(E)};\ \varphi;\ Q = \left|\frac{q\cdot\Omega_0\Omega_0' eV}{2\pi}\right|^{1/2}, \tag{1.1}$$

式中 $\Omega(E)$——具有能量为 E 的粒子的迴轉頻率; $\Omega' = \frac{d\Omega}{dE}$; q——倍数; V——加速电压幅度. 下标 0 表示与积聚能量相对应的量. 通过 φ 表示在頻率 $\omega(t)$ 的加速电場中粒子所处的相位;

$$\dot{\varphi} = q\Omega - \omega(t). \tag{1.2}$$

假定正在积聚的束流中的粒子能量和积聚能量 E_0 差别不大,即是說,下式可成为綫性

$$\Omega(E) = \Omega_0 + \frac{\Omega_0' eV\Omega_0}{2\pi Q}z. \tag{1.3}$$

下面将看到,这个假定适合于絕大多数粒子. 此外还积聚能量附近加速电場的頻率按綫性規律变化,随着时間而增高或減低.

在作了这些假定后,运动方程变成簡单形式[1]

$$\left.\begin{aligned} \dot{z} &= \cos\varphi = -\frac{\partial H}{\partial\varphi}; \quad H = -\sin\varphi + \frac{\Omega_0'}{|\Omega_0'|}\frac{z^2}{2} - \tau z\cos\varphi_s;\\ \dot{\varphi} &= \frac{\Omega_0'}{|\Omega_0'|}z - \tau\cos\varphi_s = \frac{\partial H}{\partial z}; \quad \cos\varphi_s = \frac{d\omega}{dt}\left(\frac{2\pi}{q\Omega_0\Omega_0' eV}\right). \end{aligned}\right\} \tag{1.4}$$

这里和以后都利用无量綱的时間作为独立变数

$$\tau = Qt. \tag{1.5}$$

計算时間的初值这样选擇,以使 $\omega(0) = q\Omega_0$.

由式(1.4)可知,变数 Z 和 φ 是正則共軛的,这就可以根据利伍維略定理(Теорема Лиувилля) 馬上得出几个有关束流性質的一般結論[1, 2]. 确实,当頻率和时間成綫性关系时,在相位的柱形座标 (z, φ) 上,有一个密閉的相位軌迹区域(当 $|\cos\varphi_s| < 1$),它移动的速度为 $\cos\varphi_s$. 将这块稳定区域的面积标成 S,并假定这块面积为平均密度是 ρ 的加速粒子所充满着. 在每一积聚循环之末,頻率很快恢复到初值,而且粒子保持接近积聚能量值. 按利伍維略定理,积聚束流的平均密度在相位空間中不能比 ρ 大,所以对于其能量寬度的估計为

$$\delta_n z \geqslant \frac{Sn}{2\pi}, \tag{1.6}$$

---

1) 本文于 1958 年完稿.

式中 n——积聚循环数. 只有当能量积聚区域内的全部相位空間中均匀地充满着密度为 ρ 的粒子, 或者我們所称作的在分区綫"紧密鋪設"(плотная укладка сепаратрис) 的情况下, 不等式(1.6)才能变成等式. 这个等式的偏差将在下一节討論.

下面我們需要相位軌迹的方程. 由方程式(1.4)可見, 在正則变数 $y = \frac{\Omega_0'}{|\Omega_0'|} z - \tau \cos \varphi_s$ 和 φ 中, 这个方程的形式为

$$y^2 - 2(\sin \varphi - \varphi \cos \varphi_s) = \text{const} \tag{1.7}$$

2. 在一个积聚循环中粒子能量的改变

經过了一个积聚循环后, 所有粒子的 z 軸座标有了某些位移, 而且这个位移值 Δ 取决于有限座标 z_k 和粒子經过分区綫(当 $y = 0$)附近时的相位 ψ. 在 ψ 点滿足 $q\Omega(z) = \omega(\tau)$ 条件, 此后 $\dot\varphi$ 的符号变成相反的, 这样 $\dot\varphi(\psi) = 0$[1]. 容易看出, ψ 值不能取作 $(0—2\pi)$ 区間的任何值. 这显目地表示在插图上, 这里用图解表示了在不稳定区域内上升的分区綫和相位軌迹. 可能具有 ψ 数值的区域上, 画有影綫, 其界限一端是数值 $2\pi - \varphi_s$, 另一端是 φ_1 点. φ_1 点决定于方程式

$$\sin \varphi_1 - \varphi_1 \cos \varphi_s = - \sin \varphi_s + \varphi_s \cos \varphi_s. \tag{2.1}$$

利用方程式(1.7), 可将座标的位移 Δ 和最終相位 φ_k 及 ψ 的关系表示为:

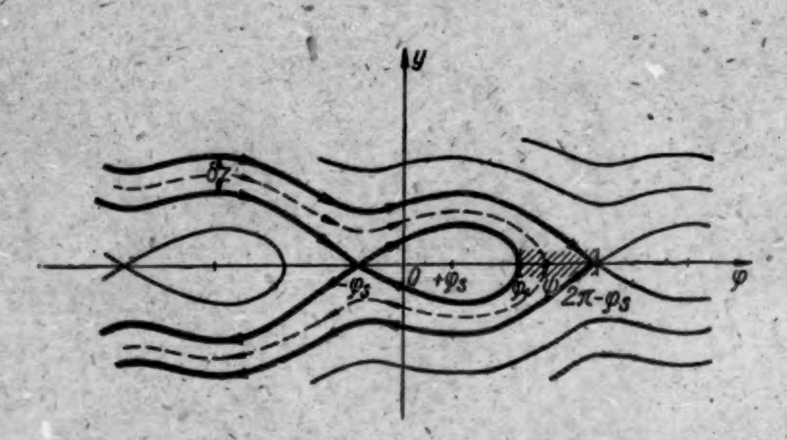
$$\Delta = \int_{\varphi_H}^{\varphi_K} \frac{2^{-1/2} \cos \xi \, d\xi}{[\sin \xi - \sin \psi - (\xi - \psi) \cos \varphi_s]^{1/2}} + \\ + \begin{cases} 2^{1/2} \int_{\varphi_K}^{\psi} \frac{\cos \xi \, d\xi}{[\sin \xi - \sin \psi - (\xi - \psi) \cos \varphi_s]^{1/2}}; \\ 0, \end{cases} \tag{2.2}$$

其中选择上限和下限的值应該取决于粒子达到相位 ψ 与否. 由于在最初时刻分区綫还距离积聚束很远, 所以在积分式(2.2)下限中的初相 φ_H 可以换成 $-\infty$ (当 $\cos \varphi_s < 0$ 时换成 $+\infty$).

当达到积聚能量时, 如分区綫不消失, 并且是經过束流附近的話, 式(2.2)变成

$$\Delta = \Delta_\infty = \sqrt{2} \int_{\mp\infty}^{\psi} \frac{\cos \xi \, d\xi}{[\sin \xi - \sin \psi - (\xi - \psi) \cos \varphi_s]^{1/2}} \quad (\cos \varphi_s \gtrless 0), \tag{2.3}$$

即 Δ 值与 z_k 无关.



积聚束流的粒子相位軌迹图

現在我們来寻求相位軌迹在相位 ψ[2]时經过分区綫附近的几率. 为此, 我們来研究一下包含在經过相位柱体的特殊点的二个边界軌迹(图中用粗綫表示)間的区域内的相位軌迹. 在 $|\varphi|$

1) 因为当 $\tau = 0$ 时, 频率可能返回到初值, 所以并非全部粒子經过相位 ψ.

2) 在文献[2]中也有同样的探討.

值大时这一区域的垂直尺寸为(在积聚循环之初)

$$\delta_0 z = 2\pi \left| \frac{\cos\varphi_s}{z - \tau\cos\varphi_s} \right|. \tag{2.4}$$

因为在 $|z - \tau\cos\varphi_s|$ 为大值时,封閉的相位空間区域实际上并不影响到在积聚能量附近的相位軌迹,所以可以認为在 $\delta_0 z$ 区間内軌迹的密度是不变的. 因而相位軌迹經过 $z - z + dz$ 区域的几率等于

$$F(z)\,dz = \left| \frac{dz}{\delta_0 z} \right| = \frac{dz}{2\pi} \left| \frac{z - \tau\cos\varphi_s}{\cos\varphi_s} \right|. \tag{2.5}$$

但是,不难看出,$\delta_0 z$ 区域的每一点和自己的 ψ 值是相称的,并且由关系式(1.7)得到

$$|z - \tau\cos\varphi_s|\,dz = |\cos\varphi_s - \cos\psi|\,d\psi. \tag{2.6}$$

(注意,对于在不稳定区的粒子而言,当 $\cos\varphi_s \gtrless 0$ 时,总是 $\cos\varphi_s \gtrless \cos\psi$). 由式(2.5)和(2.6)可见,在 $(\varphi_1 - 2\pi - \varphi_s)$ 区間中,相位軌迹落在 ψ 点上的几率不是零,而

$$F(\psi)\,d\psi = \frac{d\psi}{2\pi} \left| \frac{\cos\varphi_s - \cos\psi}{\cos\varphi_s} \right|. \tag{2.7}$$

不难相信,这个几率接近于一.

然后就需要 $|\varphi_K|$ 为大値时 Δ 的近似公式. 当 $\cos\varphi_s \gtrless 0$ 时,对方程式(2.2)簡单的計算后得到,

$$\Delta \approx \mp \frac{1}{[2|\cos\varphi_s|]^{1/2}} \frac{\sin|\varphi_K|}{\sqrt{|\varphi_K|}} \approx 0; \tag{2.8a}$$

$$\Delta \approx \Delta_\infty(\psi) \pm \frac{1}{[2|\cos\varphi_s|]^{1/2}} \frac{\sin|\varphi_K|}{\sqrt{|\varphi_K|}} \approx \Delta_\infty(\psi) \tag{2.8б}$$

这取决于粒子是否通过相位 φ_s.

3. 当积聚循环数为大数值时分布函数的方程

描述分布函数变化的一般方程式是将两个相邻循环联系起来的差分方程式

$$P(z, n) = \int_0^{2\pi} P(z - \Delta, n-1)\,F d\psi - \alpha P(z, n-1) + \Phi(z). \tag{3.1}$$

在公式(3.1)中,几率 $F(\psi)$ 由式(2.7)給出,而 $\Phi(z)$ 表明在上升的分区綫中出现了新的粒子. 如果所有循环是絕对相同的話,则 $\Phi(z)$ 与 n 无关. Δ 値应表示为 z 和 ψ 的函数(下面都略去标号). 这在 z 为任意値的一般情况下,原则上可以这样作,利用方程式(1.7)和通过 z 与 φ 来表示 φ,并且将得到的値代入方程式(2.2)中去. 在某些情况下,可簡单地利用近似式(2.8). 这种作法是可行的,因为在实际上只要誤差不超过一个比 1 大很多的値就行了[1]. 因此,在 $|z|$ 値很小时,分布函数的性質并不很重要,只要知道当 $|z| \gg 1$ 时函数 $P(z)$ 是怎样的就足够了.

在方程式(3.1)中 α 表示,由于在剩余气体中的散射和其他过程而造成的在每一加速循环过程中束流損失的几率:

$$\alpha = \frac{T}{\tau_0} \ll 1, \tag{3.2}$$

式中 τ_0——束流平均寿命,而 T——积聚循环的时間.

将(3.1)式化成福克耳-普郎克微分方程(фоккер-планк)的一般方法,由于种种原因在这

---

1) 注意,誤差 $\delta z \approx 1$ 差不多相当于相位振盪的最大幅度.

里是不适宜的. 但下面将看到, $P(z)$ 的主要性質可直接由方程式(3.1)来說明.

4. 由于分区綫的通过所引起的束流的扰动

我們先看看,当分区綫穿过束流通向无穷大去的情况下积聚束流的性質. 物理上很明显,此时束流的平均能量应以 $S/2\pi T$ 的速度減少. 事实上,每一通过的分区綫要将位于束流下的相位柱体的面积減小一个 S 值, 此面积原等于束流的平均能量乘上 2π. 当 $\cos\varphi_s < 0$ 的情况下,即分区綫自上向下經过束流时,按照同样理由,束流的平均能量应該增加.

上述問題可用方程式(3.1)求得解决,这里显然应該取 $\Phi(z)=0$ 和 $\Delta=\Delta_\infty$. Δ_∞ 值和 z 无关这一点,使問題大大簡化,因而可彻底解决.

在方程式(3.1)上采用傅立叶变换,得到下列的解:

$$P(z, n) = \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\{i\lambda z - n\ln[1+f(\lambda)]\}\,p(\lambda)\,d\lambda, \tag{4.1}$$

这里

$$p(\lambda) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} P(z, 0)\, e^{i\lambda z}\, dz, \tag{4.2}$$

而

$$f(\lambda) = \int_0^{2\pi} (1 - e^{i\lambda\Delta_\infty})\, F\, d\psi. \tag{4.3}$$

要想得到数值結果,(4.1)式,需作大量的計算. 但还是可以得出几条关于在 n 为大数值时函数 $P(z, n)$ 的近似性質的結論. 为此要說明, $R(f)$ 值永远是正的,并且一般說来約为1. 利用迁越方法积分(4.1),得到近似公式

$$P(z, n) \simeq \frac{N_0 e^{-na}}{\sqrt{2\pi n(\overline{\Delta_\infty^2} - \overline{\Delta}_\infty^2)}} \times \exp\left[-\frac{(z - n\overline{\Delta}_\infty)^2}{2n(\overline{\Delta_\infty^2} - \overline{\Delta}_\infty^2)}\right], \tag{4.4}$$

式中 N_0——全部起始粒子数.

所以在 n 值大时,不管束流中心起始分布如何,将按 $\overline{\Delta}_\infty/T$ 速度而移动. 这时的分布接近于高斯分布,同时其标准离差按下列規律增长:

$$D^2 = (\overline{\Delta_\infty^2} - \overline{\Delta}_\infty^2)n. \tag{4.5}$$

利用公式(2.2)和(2.7),通过直接积分,可以証实当 $\cos\varphi_s \gtrless 0$ 时 $\overline{\Delta}_\infty = \mp\frac{s}{2\pi}$. 所以在开头一节中基于利伍維略定理的估計是完全可以用于束流中心的运动的. 同时,經过的分区綫按照公式(4.5)"冲散"着束流.

从所得的結果可以估計由下列因素造成的积聚束流的扰动,即在多次积聚迴路中經过束流的寄生分区綫以及自上向下移动的分区綫(当加速器越过临界能量时)所引起的扰动.

5. 积聚束流的能量差别

現在我們来看看,当布滿粒子的分区綫自下而接近束流时束流的性質. 假定在达到能量 E_0 以后分区綫就消失,而在分区綫內部的粒子加入到积聚束中去,此后就重复循环.

我們仅仅来观察束流的稳定状态,不涉及它的形成过程. 初始方程很明显地应是:

$$P(z) = \int_0^{2\pi} P(z-\Delta)\,F\,d\psi - \alpha P + \Phi(z). \tag{5.1}$$

在第三节中已經說过,最值得注意的是 $|z|$ 值大时的 $P(z)$ 的性質. 因而在方程式(5.1)中可以假定 $\Phi(z)=0$, 因为当 $|z| \approx 1$ 时,按物理意义 $\Phi|z|$ 已經降到零了. 那末,利用近似公式(2.8),当 z 为大的正值时,可自方程式(5.1)得到

$$P(z) \equiv 0. \tag{5.2}$$

这个結果的物理意义是完全可以理解的，只需記起，分区綫只能在积聚能量以下，因而当 $z \gg 1$ 时，相位軌迹实际上不会受到扰动，并且接近 $z = \text{const}$ 的曲綫。这意味着，当 z 值大时，粒子能量不会改变，并且因为离子源的函数集中在 $|z| \lesssim 1$ 的区域中，所以粒子一般不能达到大的 z 值。当分区綫經过大的負 z 值时，粒子处于另一种状态。与第 4 节所述情况相同，可以預料粒子将按 Δ_∞/T 的速度向下移动，而在稳定状态时，束流的下限将有 Δ_∞/a 数值。当利用利伍維略定理和关于分区綫的"紧密鋪設"的假定时也能得到这样的数值。

讓我們来探求当 z 为大的負值时成下列形式的解：

$$P(z) = \text{const} \cdot e^{\lambda z}, \tag{5.3}$$

式中 $\lambda > 0$. 将式(5.3)代入式(5.1)并考虑到 $\alpha \ll 1$，經过并不复杂的計算后得到

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{|\Delta_\infty|}{\alpha}\left(1 + \frac{\alpha \Delta_\infty^2}{2\Delta_\infty^2}\right). \tag{5.4}$$

此式的第一項和按照利伍維略定理所算出的正好符合。对此式的校正数很小，其数量級为 α。

由于 $1/\lambda \gg 1$，所以大量粒子集中在适合于近似公式(5.3)的那个区域中。事实上，按照利伍維略定理，无論 z 为任何值，$P(z)$ 的上端是有限的，因而当 $|z|$ 为小值时，只有少量粒子（$< |z|2\pi\rho$）。所以可利用下列近似公式而无巨大錯誤。

$$P(z) = \begin{cases} 0; \\ \dfrac{SQ\lambda}{\alpha} e^{\lambda z}, \end{cases} \tag{5.5}$$

这里在所有 z 的变化区域内 $z \geqq 0$.

最后作者深深感謝柯洛明斯基(A. A. Коломенский)对一系列原則問題的討論。

考 文 献

[1] K. Symon, A. Sessler: CERN, Symposium, 1956.
[2] N. Vogt-Nilsen: Report CERN, 1958.

关于中子輻照下弹性应力弛豫問題

康諾別也夫斯基 (С. Т. Конобеевский)

本文所討論的研究結果是：中子輻照对于鈾鉬合金的迭板弹簧內弹性应力弛豫的影响，以及对引起軋制过的鈾的X射綫图条紋变寬的显微应力弛豫的影响．本文发展了文献[1]中所提出的理論概念，并把計算結果与实驗数据做了比較．

实驗研究的簡述

为了更快地鑑定核燃料在中子流輻照下蠕变抗力，决定采用試样进行弛豫实驗．假定，蠕变(在恆定負荷下的形变速度)和弛豫(在恆定形变下弹性能力的丧失)之間是相适应的．根据实驗部分可作出必要的解释，并引出文献[1]中所得出的最重要的結果．

将尺寸为30 × 1.5 × 0.1毫米的鈾鉬合金制的迭板弹簧夹在使弹簧具有弧形的衬套內，并在此形态下于570℃的温度中退火1小时．經过这样的热处理以后，从夹具中拿出的試样持有弯曲形状．然后将这些試样放在两个平板衬套之間，試样的一部分放在中子流密度为1.5×10^{13}中子/平方厘米·秒的反应堆內輻照，而另外一部分則进行长时間的有检查的加热(200℃)．輻照前和后都測量了弹簧的挠度．将鉬含量为0.91%和9.0%的鈾鉬合金进行了輻照．鈾处在α相，鉬合金处在γ相．輻照以后，无論是含鉬0.91%和含鉬9.0%的合金的挠度減少了，而且变化最大的是发生在輻照最初的1—2小时，这相当于积分中子流0.5×10^{17}—1.0×10^{17}中子/平方厘米．虽然α鈾和γ鈾試样的弹性应力最初的突降，大致上是在同一时間內产生的，但是α鈾弹簧的突降的最初値比較大，而以后弛豫也进行得比較快和比較长，把最大应力水平經过10小时輻照之后(积分中子流$\backsim5\cdot10^{17}$中子/平方厘米)从24降到2～3公斤/平方毫米．γ鈾第二阶段的弛豫进行得非常緩慢，最大应力水平在100小时內总共降低了25—30%(图1)．

在进行这些实驗时，发現大部分在輻照下所发生的形状变化是可逆的．从平板夹具取出

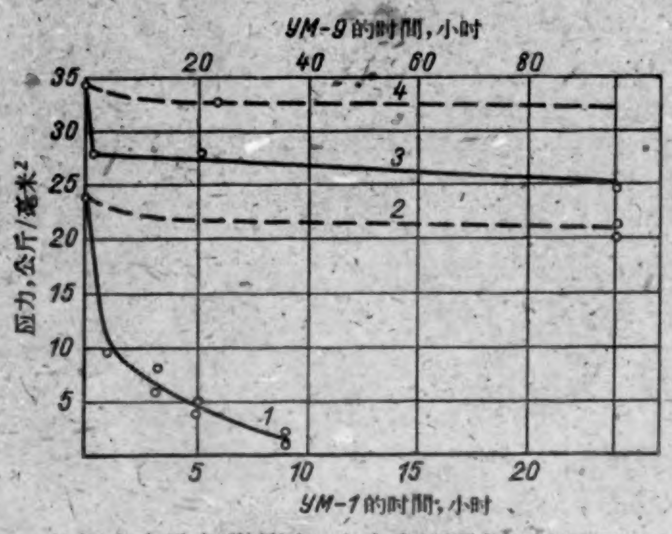


图1　鈾鉬合金迭板弹簧中，应力和中子輻照时間的关系：
1,3——分別为含鉬0.91%和9.0%的鈾鉬合金；
2,4——上边的合金在200℃下退火检查曲綫．

的弹簧又逐渐增加其曲率，这一迴返过程能够用輕微退火的方法加速. γ 鈾薄片在短期輻照时，形状的变化是极为可逆的. 这一点可以很好地从表中看出来，該表引入了两个含鉬 9.0% 的鈾鉬合金（YM-9）試样在輻照后，在常温中保持和退火后的挠度的值.

鈾合金的迭板弹簧弛豫实験的結果和在堆内經过 [1,2] 中子輻照过的鈾和 YM-9 合金冷軋薄片的 X 射綫綫条寬度測量所得的数据是一致的. 按渥廉—爱費尔巴哈法[3]所做的綫条形状分析表明，輻照作用以后，冷变形金属綫条变寬部分的显微应力降低了，而且这个降低速度大致相当于弹簧的弹性应力的弛豫速度. 图 2 和图 3 援引了 B 綫条寬度在时間上的曲綫变化（中子流密度为 2×10^{13} 中子/平方厘米・秒），以及 α 和 γ 鈾試样的显微应力 σ 的相对值在时間上的曲綫变化. 在輻照开始时，导致綫条变寬的应力的消失进行得很快，因此整个变化的 60—70% 是在輻照最初的 1—1.5 小时内看到的. 在 α 鈾中，应力水平实际上下降到零以后，α 鈾的綫条寬度在以后的輻照中开始慢慢增加，这对于多晶体鈾来說，显然是与晶粒相互之間的压力增大（由輻射增长所引起的）有关.

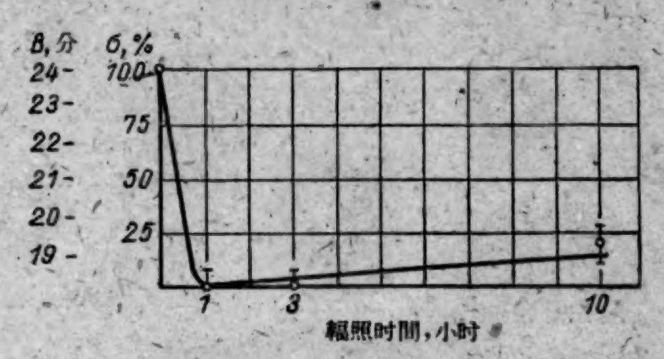


图 2　X 射綫照片 114 綫寬度（B）和 α-鈾冷軋試样的残余微应力 σ 数値（原始値的百分数）随輻照时間的改变（中子流密度为 2×10^{13} 中子/平方厘米・秒）

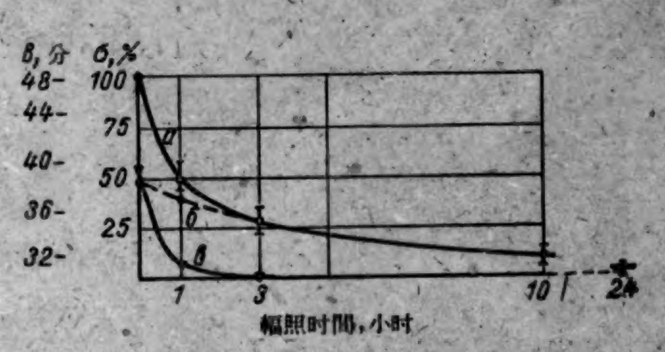


图 3　和图 2 一样，对于 γ 鈾（YM-9 合金）的 222 綫条塑性形变为 90%

有趣的是，由短期輻照所引起的綫条寬度的变化和被輻照的弹簧在弛豫实験中的曲率却是換向的. 被輻照过的 α 鈾和 γ 鈾試样的輕微退火（在 200—300°C 下），导致反常的結果，象在一般退火中发生的一样，綫条寬度并不減少，相反还有些增加，并力图回到輻照以前的原有位置.

从以上所述看出，在中子流作用下，弹性应力弛豫（在恆定变形下应力的減少）的变化特性在一定程度上会再发生蠕变（在恆定負荷下的变形）加速现象. 因此毫无疑問，α 鈾的反常的弛豫加速是和这一物質的蠕变加速相符的. 但是，尽管程度不大，在立方体 γ 鈾中也存在着弛豫现象. 在鈾中，弛豫变化的速度說明了，在所有情况下，这个现象最初的快速阶段应該認为是直接由本身裂变作用引起的最初的輻射效应，而不是 α 鈾的輻射增长所引起的二次效应. 这一点已被洛別尔斯和康托列尔做为他們的輻射蠕变的理論基础[4]. 因此就要求特別地研究弛豫现象. 它的机理自然是和輻射影响对裂变物質的最初作用有联系的（具有热峯和裂变峯）.

在文献[1]中認为，裂变作用产生了容易移动的点陣缺陷，使原子在应力場中易于移动. 点状缺陷向应力部分的迁移，要降低应力状态的水平. 这时，各种符号的缺陷（間隙原子和缺位）总是优先在相应符号的主要应力总合的区域內扩散. 对于缺陷的反向运动，则要求提高活化能量. 这样，这些缺陷就要跌入陷阱內. 在上述所指的点状缺陷分布下，只是发生局部的、临时的应力消失，假如缺陷是固定的，組成綜合体，以这种或那种方法与晶体中出现的錯位联系在一起，就将得到比較稳定的状态. 我們将努力发展这个概念，并使这个概念具体化.

理　論　部　分

在靠近座标为γ的点发生裂变作用．我們不想仔細地考察在这一点附近可能发生的所有原子位移．正如以前所知[1]，假設有某一个区域v，在該区域内发生了完全的原子位移．在冷却和結晶后，原来的晶格保留下来，但是对在这一区域内，或者靠近这一区域的每个原子将发生$10^{-3} \sim 10^{-4}$个間隙原子或空位型的基本缺陷．

如在被輻照的金属中晶格变形了，則是由于金属經历了热峯状态，而发生如下的变化．首先应当考虑到，在热峯体积内，平均原子浓度，即单位体积的原子数目均匀了，因为这与弹性能的总的减少有关．这样的浓度均匀可以用质量由压縮地点朝拉力方向流动来解释．其次，在弹性弯曲层内，这种或那种符号的缺陷的数目，即是經历了热峯之后在体积v内殘存的中間原子或相应的空位，总的来說可能不一样．

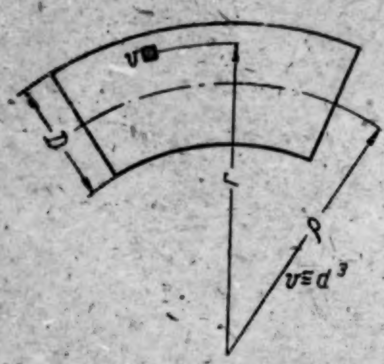


图4　热峯对于弛豫的影响的說明图

在下面会看到，有二种因素会导致弹性能的降低，我們将逐个地研究这些因素的作用．

选择簡单的，层的厚度为D，曲率半径为ϱ的圆柱形弯曲体（見图4）作为弹性状态的模型．

在圓柱弯曲的情况下，平均原子浓度

$$n = n_0 \frac{\varrho}{r},$$

其中n_0——无应力物体中的原子浓度；ϱ——曲率半径，r——每层的厚度座标．原子浓度在体积为$v \cong d^3$的热峯区域内的均匀，意味着有一个从压縮区走向拉力区方向的原子流存在．这个原子流[1)]

$$\varphi = \frac{n_0 \varrho d^2}{2}\left(2\int_{r-d/2}^{r} \frac{dr}{r} - \int_{r-d/2}^{r+d/2} \frac{dr}{r}\right) \cong \frac{v n_0 \varrho d}{8r^2}. \qquad (1)$$

YM-9合金的迭板弹簧的后效（撓度测量的精确度±0.02毫米）

处　　理	撓度，毫米	
	試样№1	試样№2
輻照之前	6.87	6.85
輻照（中子流为$1.9 \cdot 10^{17}$中子/平方厘米）	5.22	5.22
在常溫下保持（21天）	6.29	6.28
在以下溫度退火		
220°C（2小时）	6.49	—
320°C（2小时）	6.67	—
400°C（1小时）	6.72	—
試样置放在平面夹具中：在常溫下保溫*		
75小时	6.71	6.25
167小时	6.72	6.21
210°C保溫*（5小时）	6.70	6.16

* 实驗的数据，实驗将在下面描述．

1) 如果$\frac{d}{2} \ll 1$，則式(1)是正确的．在相反的情况下，它应当乘上$-\frac{1}{x^2}\ln(1-x^2)$，其中$x = \frac{d}{2r}$．但是在所有实际的可能情况下，修正不超过10%．

假設单位时間内,一个立方厘米中热峯数为 N, 则质量流的密度,或者通过一平方厘米弯曲层的原子数,

$$\Phi = Nv\frac{n_0}{8}\frac{Qd}{r^2} = \frac{Nv}{4}\frac{d}{D}\frac{\sigma_m}{E}n_0. \tag{2}$$

在凸出的边界上,这个流等于原子浓度临时的增加,这也决定了应力的减少:

$$-\Delta\sigma_m = \frac{\Phi}{n_0}E.$$

因此最后得到

$$\left.\begin{aligned}\frac{d}{dt}\ln\sigma_m &= -\frac{Nv}{4}\frac{d}{D},\\ \text{或}\qquad \sigma_m &= \sigma_{m_0}e^{-\frac{Nv}{4}\frac{d}{D}t}.\end{aligned}\right\} \tag{3}$$

上面所得到的式子通过弛豫时間确定应力的临时行程

$$\tau = \frac{4D}{d}\frac{1}{Nv}. \tag{4}$$

数值 Nv 表示出,在单位时間内,有多大一部分体积經历热峯状态. 如果取一小时作为时間的单位,则在普通运轉条件下,Nv 接近于 1. 于是,弛豫时間主要是取决于 D/d, 也就是說主要取决于应力分布不均匀的程度.

当 D 区域和热峯的綫尺寸相差很小的时候,τ 的数值才不很大. 看来,这里所描写的机理是一种慢的过程,并且只是在靠近边界处,晶格弯曲集中的情况下,其作用才显著,特别是在后者具有很大的弹性特性的非均质的时候.

现在我們来研究在分裂作用影响下的第二种可能的弛豫机理.

在热峯区域 v 中产生了分裂碎片的停滞之后,在这个区域中平均温度剧烈升高的同时,产生了大量的移位原子和空位. 其中的較大部分在这个区域凝固之后就馬上消失. 上述现象的产生或者是由于移位原子和空位的相遇,或者由于形成了这样或那样地协調在晶格之中的絡合物,或者最后是由于位錯和其他非均匀性而吸附了缺陷. 在通常情况下,这个过程将导致这样的結果:即缺陷的总浓度和这种与那种符号的缺陷数(間隙原子和空位)的比例在被輻照的物体的整个体积内都是一样的.

但是,在弹性应力的物体中,缺陷的消失几率(通过絡合生成或者把缺陷的位錯衔接起来)主要取决于在这个过程中弹性能量是增加还是减少. 因此,这种或那种符号的剩余缺陷的浓度应当是座标的函数并与弹性形变最初的分布相符. 由于弹性場中不同部位的平均原子体积不同,部分的弹性形变轉变为非弹性形变. 这就意味着弹性能量的总的降低,也就是发生了弛豫.

假設属于热峯体积中的总原子数中由于一次裂变作用而产生的缺陷数目为

$$n_v + n_i = 2n.$$

这里的脚碼 v 表示位移, i 表示間隙原子. 如果 α_v 和 α_i 分别表示当产生一个位移和間隙原子时的体积增长率(以平均原子体积为单位来表示). 那么,由于缺陷的形成,热峯区域体积的总的相对变化是 $n_v\alpha_v + n_i\alpha_i$. 在弯曲的区域中,差数 $n_v - n_i = 2n'$ 是与座标有关的(例如在凸出的方面,該差值为負,在凹的方面为正). 本点上总的体积变化和平均的体积变化 $n(\alpha_v + \alpha_i)$ 之差将等于 $n'(\alpha_v - \alpha_i)$. 这一体积的相对变化由于經过了热峯,应当和由于弹位綫性形变 ε 而引体积变相对比. 比例

$$\frac{n'(\alpha_v - \alpha_i)}{\varepsilon(1-2\mu)} \tag{5}$$

表示着，被輻照的材料的全部体积經过热峯状态的时間之內(近似的，在 $1/N\nu$ 的时間之內)弹性形变的減弱．由此我們可以写出

$$-N\nu\frac{n'(\alpha_v - \alpha_i)}{\varepsilon(1-2\mu)} = \frac{d\varepsilon}{\varepsilon dt},$$

或者

$$-\frac{1}{n'}\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{N\nu(\alpha_v - \alpha_i)}{1-2\mu}, \tag{6}$$

其中的 n'，显然应当是該点的应力，或者弹性能量的密度的函数．按照类似于热活化过程中的相应的关系，我們假定．

$$n' = n(1 - e^{-(\sigma/\sigma')^2}), \tag{7}$$

其中 n——由于各种峯而产生的平均缺陷数，将此式代入(6)，利用更一般的符号，得出

$$\frac{d(\sigma/\sigma')}{1 - e^{-(\sigma/\sigma')^2}} = -\frac{dt}{\tau}, \tag{8}$$

其中

$$\tau = \frac{1}{N\nu}\frac{(1-2\mu)\sigma'}{E}\frac{1}{n\Delta\alpha}. \tag{9}$$

式中 E——楊氏模量；$\Delta\alpha = \alpha_v - \alpha_i$；$\sigma'$——上面引入的能量参数，这个参数規定着缺陷非对称保留的几率；μ——泊桑比；τ——弛豫时間．根据(8)式，σ 与 t 的关系可分为两个間隔，当 σ/σ' 的値大时，

$$\sigma = \sigma_m - \frac{t}{\tau}\sigma', \tag{10}$$

而当 σ/σ' 的値小时，这个关系可以近似地表示为

$$\sigma t = \sigma'\tau. \tag{11}$$

換句話說，在弛豫的开始阶段，应力迅速降低，沿着下降的直綫变化，該直綫对于时間座标的斜率取决于弛豫时間 τ．以后，应力的降低速度減緩了，而遵循着双曲綫的关系．图5表出当 $\sigma' = \frac{\sigma_m}{2}$ 时的函数 σ/σ' 与 t/τ 的关系图．从这里可以估計出弛豫时間 τ，根据是，n 应当是数量級为 10^{-3}—10^{-4} 的数量，而 $\Delta\alpha$，大概将等于一个或几个单位[5]．

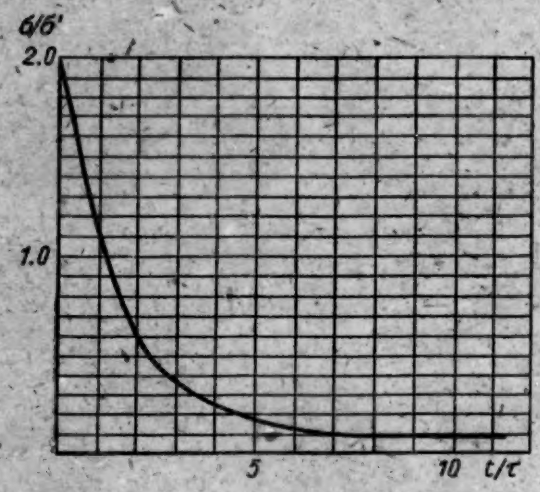


图5 以无量綱 σ/σ' 及 t/τ 表示的应力与时間的关系．这些关系是按照公式(6)計算出来的．此处系 $\sigma' = \frac{\sigma_m}{2}$ 値的曲綫．

因子 $\frac{(1-2\mu)\sigma'}{E}$ 是未知量，并应根据实驗数据来确定．在所有的情况下，它应当在弯曲形变的平均数値左右，在弹簧弛豫的实驗中平均値为 $\sim 10^{-3}$．于是 $\tau \leqslant \frac{1}{N\nu}$ (τ 以小时为单位)．在(10)式以 $-\frac{\sigma_m}{2}$ 代替 σ，我們发现，在 τ 时間內，也即是被輻照材料的全部体积只經过一次热峯状态，就在这时間內，可以期待最大应力将降低一半．这种現象在 α 鈾弹簧的弛豫中看到，而在微应力(被輻照的变形的鈾的 X 射綫譜綫寬度計算出的)消除过程中同样也看到这种現象．

这里定性描繪的机理是一个快的过程．这种过程直接由这种或那种符号的缺陷的过剩数

量的出现与該点形变的大小和符号的关系(拉伸或压縮)所制約．所产生的这种应力的迅速消失还不是稳固的变化，因为它并不直接和原子的位移相关，而原子的位移是不可逆的形变所必須的．补償弹性形变的缺陷仿佛是暫时处在陷阱里，当应力状态由于外力作用而变化的时候，它們就可以脫离那里．因此这一部分弛豫是可逆的，而在实驗中也看到了这种情形．为了使形变成为固定的，必須有相应于形变梯度的实际的原子位移，也即是必須进行导致不可逆变化的那种眞扩散过程．这种过程在分裂材料中，正如以上所述，由于在热峯区域中有再結晶是可能的．这种过程更为緩慢，并且取决于分布应力的分散性．但是在温度有些增加的情况下，看来，一般的由于位移或間隙原子运动机理的帮助下，原子扩散的热活化的过程是可能的，也能导致不可逆的形变．

在下述由杜布洛文(К. П. Дубровин)完成的实驗中显示出輻照所致的缺陷浓度的提高，在加速弛豫現象中的作用．

两个被折弯的 γ 鈾迭板弹簧(УМ-9 合金)(它們的弯曲是通过高温范围的退火而固定下来的)，在夹具中以伸张状态被輻照，之后，弯曲的矢距从 6.87(6.85)降到 5.22 毫米．試样 № 1 經过附加的热处理—在 200—400°C 范围內退火(見表)．在这之后，它的曲率增大了(后效)，試样 № 2 由于放在室温中，只是感到曲率有部分的增长．然后，两个試样被置放在平板夹具中，并按着表上所列的規定保持在夹具上．可以看到，試样 1 沒有改变自己的曲率，而試样 2 的曲率却显著減少．即是，又重新发生了部分的弛豫，这个弛豫最初是在輻照作用下发生的．

对这些結果很容易作如下的解释．輻照之后，在弛豫的試样中，有一些保留在陷阱內的缺陷剩余．后效現象就是由于这些缺陷从陷阱中脫逃而引起的．如果在常温之下存放，后效过程中从陷阱中释放出来的缺陷有一部分将被保留很长时期．在升温到 400°C 时，輻照缺陷实际上会完全湮灭．因此，如果含有缺陷的試样經受弹性形变(試样 № 2)，那么由于剩余缺陷的位移以及它們再一次在陷阱內被吸附，試样的形变就轉变为非弹性的，并发生弛豫．在沒有剩余缺陷的試样中，就不发生弛豫．

結　　論

本文描述的实驗及进行的計算証明，在輻照下产生的无論是作用应力，或者是剩余应力的弛豫，其基本原因是原子缺陷的产生和位移(間隙原子和空位)．无疑地，弛豫的主要部分在輻照增长还不大的短輻照时間內发生的．这不能看作是作用应力与增长应力的合成而引起的滑移的內部过程的弛豫的原因．这类似，在文献[4]以及文献[6]中对于 α 鈾在輻照下的反常蠕变現象所采取的那样．在本文中，弛豫的加速被解释为初期的輻照效应．在鈾及鈾合金中造成热峯的分裂作用，在这时起着双重作用．首先，热峯引起大量点缺陷的产生，而这些点缺陷和缺陷区域的比容变化有关，同时也是被輻照材料的原子自行扩散強度提高的条件．其次，热峯区域內放出的热量提高了原子的活动性，并因此成为原子迁徙过程的輻射活化的手段．在可逆弛豫范围內，点缺陷的积累和陷阱对它們的选择俘获起着主要作用，这已被上述关于加強預先被輻照的 γ 鈾的弛豫性能的实驗所証明．但是，經过时間更长一些的輻照(积分通量为 $5\cdot10^{17}$ 中子/平方厘米)的 α 鈾中的不可逆的弛豫变化，則需要另外的解释．并且，看来这种变化与应力場中缺陷自行扩散的輻射活化机理有关．当然 α 鈾弛豫現象中也并不排斥考屈尔-罗伯尔特斯的机理的某些作用，但是，看来弛豫現象和增长的間距是被分开的，这一点就是在图 2 上也容易看到．

从以上所述可以得出，弛豫現象不完全在于鈾的輻射蠕变，虽然在一定程度上是和它相关的．也有一个相反的問題：輻射弛豫对于在輻照下的鈾的蠕变是否起作用，鈾的反常蠕变是否

和反常弛豫一点关系也沒有？这个問題現在还不好回答．由于我們認为輻射弛豫是由于扩散过程而引起的，因而可以作出这样的結論：它和納巴柔-蓋林格[7]扩散蠕变的理論相似，并在这个意思上可以包括在这个理論之內．虽然 α 鈾蠕变的輻射加速正好和扩散(固定的)蠕变的范围有連系，但是上述的概念在这个区域內还沒有找到应用．只有更仔細地实驗 γ 鈾及其他具有規律的晶体結构的裂变材料的蠕变，以及研究 α 鈾单晶体的蠕变将可以更好地闡明这个机理的可能的作用．希望进行这些实驗，因为蠕变問題以及鈾和其他裂变材料在輻照作用下的稳定性問題具有很大的实际意义．

参考文献

[1] С. Т. Конобеевский и др: Тр. Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Докл. советских ученых. Т. 3.—Ядерное горючее и реакторные металлы. М., Атомиздат, 1959, стр. 585.
[2] С. Т. Конобеевский, Н. Ф. Правдюк, В. И. Кутайцев: Материалы международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1955), т. 7, М., Изд-во АН СССР, 1957, стр. 526.
[3] B. Warren, B. Averbach: *J. Appl. Phys.*, **21**, 595 (1950).
[4] A. Roberts, A. Cottrell: *Philos. Mag.*, **1**, 711 (1956).
[5] D. Holmes et al: Доклад № 2385, представленный США на Вторую международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958).
[6] А. С. Займовский и др: *Атомная энергия*, **5**, вып. 4, 412 (1958).
[7] C. Herring: *J. Appl. Phys.*, **21**, 437 (1950).

工业鈾矿石分类的基本原則

普里貝特科夫 (П. В. Прибытков)

文章推荐了根据对矿石的化工处理起决定作用的一些标志来进行鈾的工业矿石分类的原則。这些标志是：鈾矿化的性质，矿砂成分，鈾的含量，是否存在伴生的貴重組分，构造和結构特点。这种分类方法的实际应用，大大簡便了鈾矿石的工艺鑑定及其加工处理。

鈾矿石的成分对于其工艺处理影响甚大。因此，矿石按工艺特性分类有着重大的实际意义。

工业鈾矿石的分类是在 1954 年第一次被提出的[1,2]。文献[1]中按鈾矿化的性质，碳酸盐和釩的含量，及其对工艺过程的影响，划分出 27 种矿石。这一分类方法是对美国科罗拉多高原的矿石而制定的。文献[2]中按鈾矿化的性質，把矿石分为 9 种矿物类型，而且还研究了它們在选矿和湿法冶金处理过程中的性状。文献[3]中按鈾矿化的性质、元素的共生情况、矿物集合体的大小、矿物顆粒的粗細及其他标志而划分工业矿石。

上述諸分类极为籠統，不能充分滿足在工业上鑑定工业鈾矿石的化工特性的要求。

本文中提出的分类具有較为广泛的基础，而且也比較充分地考虑到研究鈾矿石成分、鑑定工艺特性和按类型划分鈾矿石的实际問題。这一分类基于一系列的、对矿石的加工工艺起决定作用的标志，即：鈾矿化的性质，矿砂的矿物成分和化学成分，矿石中鈾的含量，矿石中是否有伴生的有用組分，矿物集合体的大小，鈾矿石的結构构造特点以及矿砂的对比度。根据这些标志，工业鈾矿石分为各种类型、变种和品級。

鈾 矿 化 的 性 质

現在已知的鈾矿物和含鈾矿物将近 190 种，真鈾矿物中有主要工业意义的是：內生矿物（按实用意义漸次減小的順序）——非晶質鈾矿、晶质鈾矿、鈦鈾矿、矽鈾鈣鎂矿；外生矿物——鈾黑、非晶质鈾矿、鈾石[1)]、鉀釩鈾矿、釩鈣鈾矿、水非晶鈾矿、矽鈣鈾矿、β-斜矽鈣鈾矿、矽鉛鈾矿、矽鈾矿、鈣鈾云母、銅鈾云母、正銅鈾云母、砷鈣鈾矿、翠砷銅鈾矿[5,6,4]。

具有工业意义的含鈾矿物（大多数情况下是岩浆成因的）包括：独居石、鈦鈰鉄矿、曲晶石、鈦鈮鈾矿、黑稀金矿、褐釔鈮矿、杂鈮矿等[2,6]。沉积矿床中的鈾富集在磷酸鈣、有机化合物、泥质矿物、褐鉄矿、蛋白石、玻璃蛋白石等里面。鈾的存在形式多数尙未确定。

根据鈾矿物和含鈾矿物的成分、以及根据决定它們在选矿和湿法冶金处理过程中性状的物理化学特征（破碎情形、天然状态下和焙燒后在无机酸溶液和碱溶液中的溶解度等），可以把矿石按表 1 进行分类。

从表 1 看出，含內生矿物的矿石，用放射性分选法或重力法都很容易选别，可是要从这些矿石中浸濾出鈾来，则在許多情况下，尤其在处理含鈾矿物的时候，需要用高浓度的酸溶液[1,2]。含外生矿物的矿石，选别时要困难得多，然而却可以用弱酸溶液和碱溶液从矿石中提取出鈾来。

1）按文献[4]的資料，安布罗西亚-列克矿床（Амбросия-Лейк）的鈾石是外生条件形成的。

表 1　矿石按鈾矿化性质分类表

矿石类别	按鈾矿化划分的矿石类型	主要矿物	可能的机械选矿方法	可能的湿法冶金处理方法	附注
內生(原生矿石)类	非晶质鈾矿型	非晶质鈾矿	А, Б	Д*, Е	—
	晶质鈾矿型	晶质鈾矿	А, Б	Е, Ж*	—
	鈦鈾矿型	鈦鈾矿	А, Б	Ж	—
	含鈾的鈦、鋯、鈮、鉭、釷和稀土矿物組成的矿石	独居石、鈦鈰鉄矿、曲晶石、鈦鈮鈾矿、黑稀金矿、褐釔鈮矿	Б, В	Ж	湿法冶金处理前需焙烧、熔合
外生(次生矿石)类	非晶质鈾矿型	非晶质鈾矿	А	Д*, Е	—
	鈾石型	鈾石	—	Е	—
	鈾黑型	鈾黑	А	Д, Е	—
	氫氧化物型	鈾的簡单和复杂氫氧化物	А, Б	Д*, Е	—
	矽鈣鈾矿-矽鉛鈾矿型	矽鈣鈾矿、β斜矽鈣鈾矿、矽鉛鈾矿、矽鈾矿等	А	Д, Е	—
	鈣鈾云母-銅鈾云母型	鈣鈾云母、銅鈾云母、鋇鈾云母、正銅鈾云母	А, В	Д, Е	—
	砷鈣鈾矿-翠砷銅鈾矿型	砷鈣鈾矿、翠砷銅鈾矿、变翠砷銅鈾矿	А, В	Д, Е	—
	鉀釩鈾矿-釩鈣鈾矿型	鉀釩鈾矿、釩鈣鈾矿	А	Д, Е	湿法冶金处理前需焙烧、熔合
	未确定鈾矿化形式的矿石型	磷酸鈣、有机化合物、泥质矿物、鉄和錳的氫氧化物等	А, Б*, В, Г	Е, Ж	湿法冶金处理前需焙烧
混合矿石	非晶质鈾矿-鈾黑型	—	А, Б	Е	—
	非晶质鈾矿-氫氧化物型	—	А, Б	Е	—
	非晶质鈾矿-矽鈣鈾矿-矽鉛鈾矿型	內生和外生的鈾矿物	А	Д*, Е	—
	非晶质鈾矿-鉀釩鈾矿-釩鈣鈾矿型	—	А	Д*, Е	湿法冶金处理前需焙烧、熔合

附注　表 1-3 中采用下列諸符号：А——放射选矿；Б——重力选矿；В——浮选；Г——水力旋流器上多阶段分选；Д——碳酸盐浸滤；Е——用稀酸浸滤；Ж——用强酸浸滤；Е,Ж——酸浸滤，并用氧化剂；*——很少应用。

表 2　鈾矿石按矿砂的矿物成分和化学成分的分类表

(符号的解释見表 1 之附注)

矿石类型	矿石变种	决定着矿石类型之組分的含量	可能的机械选矿方法[1]	可能的湿法冶金处理方法	附注
矽酸盐和鋁矽酸盐型	—	矽酸盐和鋁矽酸盐矿物多于95%	Г*	Д*, Е	—
碳酸盐型	含少量碳酸盐	6—12% 碳酸盐	—	Д, Е	—
	含中量碳酸盐	12—25%碳酸盐	В	Д, Е*	—
	含大量碳酸盐	多于25%碳酸盐	В	Д	—
硫化物型	含少量硫化物	3—10% 硫化物	Б, В	(В)Д*, Е	—
	含中量硫化物	10—25%硫化物	Б, В	Е	—
	含大量硫化物	多于25%硫化物	Б, В	Е	—
鉄氧化物型	—	工业鉄矿石		Е	湿法冶金处理前需預先焙烧，熔合，熔化
磷酸盐型	含少量磷酸盐	3—10% P_2O_5	Б, В	Е	—
	含中量磷酸盐	10—20% P_2O_5	Б, В	Ж	—
	含大量磷酸盐	多于 20% P_2O_5	Б, В	Ж	—
可燃有机岩型	含鈾的煤和固体瀝青	—	Б	Д, Е	湿法冶金处理前需預先焙烧、熔合
	碳质和瀝青质頁岩、砂岩及其他岩石	—	В, Г	Д, Е	同上

1)　表中所列之处理矿石的方法，能否应用，要决定于围岩和脉石充填物的成分。

矿砂的矿物成分和化学成分

在选择处理矿石的工艺流程时，围岩和脉石充填体中的非鈾矿物之物理和化学特性，在許多情况下却起着决定性作用，因为正是这些矿物决定着湿法冶金处理中試剂的成分和总耗量。

对矿石的工艺特性影响最大的要算是碳酸盐、硫化物、磷酸盐、鉄氧化物和有机质。根据已发表的資料[1,3,5,7,8]（虽然这些資料还不是十分完备的），可以把鈾矿石按矿砂成分分类（表2）。

矽酸盐和硫化物矿石主要是用酸浸滤的方法处理。含大量和中量碳酸盐，但鈾含量不高的矿石，一般用碱溶液浸滤[1]。含少量和中量碳酸盐，而鈾含量高的矿石，在許多情况下用酸浸滤法处理还比較經济。磷酸盐矿石中的鈾是在用酸处理法制造磷酸盐肥料时附带提取的[9]。处理鉄氧化物和可燃有机矿石时，在某些情况下需采用許多专門的措施（熔化、焙烧等）。

鈾在矿石中的含量

鈾在矿石中的含量，是决定矿石质量好坏的一个最重要标志。鈾在矿石中的含量下限，一般都是根据每个矿床的一系列地质和經济技术因素而分别确定的。

第二次世界大战以前，在原来的比属刚果、加拿大的大熊湖、科罗拉多高原諸矿床上开采了鈾品位高（从1.5到10%以上）的矿石。战后年代，尤其是最近十年間，开始开采鈾品位較低的矿石。这是由于发现了一些儲量很大、而矿石鈾品位較低的新矿床（安布罗西亚-列克，布兰德河等），增加了对鈾的需要量以及完善了原料的处理工艺所致。

现在認为，开采鈾儲量相当大的眞鈾矿床，U_3O_8的含量为0.05—0.07%以上时，經济上就已适宜。若是綜合利用矿物原料，更可以在矿石中U_3O_8的含量为0.01—0.03%时即提取鈾（如佛罗里达和摩洛哥的磷灰岩，又如維持瓦特尔斯兰的含金砾岩）。根据眞鈾矿和綜合矿床的矿石中鈾含量的資料[10—14]，以及根据处理矿石的經驗[1,8,13,14]，可把矿石按表3进行分类。

表3　矿石按鈾含量的分类表
（符号之解释見表1附注）

矿石品級	鈾含量（%）	可能的机械选矿方法	可能的湿法冶金处理方法
一等（极富的）	>1	А, Б	Е, Ж
二等（富　的）	1—0.5	А, Б	Е, Ж*
三等（中富的）	0.5—0.25	А, Б	Е
四等（一般的）	0.25—0.09	А, Б	Д*, Е
五等（貧　的）	从0.09到最低工业极限	А, Б	Д, Е

一等和二等品級的矿石实质上是工业精矿，可以直接作化学处理[13]。三等四等和五等品級的矿石，或者預先进行机械选别，使达到必需的标准，或者直接进行湿法冶金处理[13]。鈾含量低于工业极值的矿石（含U_3O_8不低于0.01—0.02%的极貧矿），只能在特別有利的条件下才可以加工处理。

矿石中伴生有用組分的存在

除了眞鈾矿床外，还有綜合矿床，其矿石中除含鈾外，还含其他有用組分。鑑定这样的矿床时，无論对于鈾或是伴生的組分，都可以把工业极值降低到經济上允許的极限[9,15]。例如，維持瓦特尔斯兰矿床上，鈾是随着金而附带提取的，U_3O_8含量为0.01—0.03%的矿石即加工

处理;佛罗里达磷灰岩中含 U_3O_8 为 0.01—0.02% 时即提取其中的鈾.

根据鈾矿石中具有实用意义的其他組分的含量,可划分出下列諸矿石:金-鈾矿、鈾-鉬矿、鈾-多金属矿、鈾-磷酸盐、鈾-釩矿等.

根据鈾和其他有用組分在矿石中共生的情况,可把矿石分为:

1. 其中鈾和其他有用組分都属于眞鈾矿物成分之內的(鉀釩鈾矿——釩、鉀);

2. 其中的鈾参加含鈾矿物的成分,这些矿物是由于其他組分才具有工业意义的(独居石——稀土、釷、鈾;褐釔鈮矿——鉭、鈮、稀土、鈾等);

3. 其中的鈾参加造岩矿物的成分,而造岩矿物的主要組分才具有工业意义(磷酸鈣——磷、鈾;含鈾的煤等);

4. 其中的鈾和其他組分在各种矿物中各有不同的分布(含-鈾矿石等).

前三类矿石加工处理时,只能用化学方法分离有用組分. 第四类矿石中鈾矿物和其他組分的矿物可以用机械选矿方法(湿法冶金处理之前或之后)来分离成各种产物.

表 4 鈾矿石按鈾矿物和含鈾矿物的集合体和顆粒大小分类表[1)]

矿石按集合体和顆粒大小而定的特征	絕大多数直径(毫米)	平均直径(毫米)	处理方法
粗粒矿石	25—300	162	放射分选
中粒矿石	3—25	14	放射分选和跳汰选
細粒矿石	0.1—3	1.5	跳汰选,重悬浊液中分离,搖床选,放射分选
微粒矿石	0.015—0.1	0.057	浮选(很少),放射分选,湿法冶金处理
乳胶矿石,半显微矿石	0.001—0.015	0.008	用水力旋流器进行多段分級,区分出含鈾和不含鈾的产物或直接用湿法冶金处理
分散胶体状矿石	小于0.001	—	同上

1) 以文献[16]中的分类为基础.

矿物集合体的大小和鈾矿石的結构-构造特点

对于工艺过程来説,象鈾矿物分出体的大小及其結构-构造特点之类的因素,起很大的作用.

表 4 为根据矿物集合体的大小而划分鈾矿石的分类表.

根据对选别过程的影响,可以将鈾矿石的結构构造分为如下几种:

1. 块状、斑状(巢状)、細脉状、条带状、浸染状、腎状构造;鈾矿物集合体的大小从几个毫米(1.5—3 毫米)到几个厘米;这样的矿石用放射性分选法或重力法选矿比較容易;

2. 細浸染、角砾、碎斑、皮壳、网格、环状、鱗片状构造;鈾矿物集合体的大小从十分之几个毫米到 1—1.5 毫米;这样的矿石用机械方法选矿有困难.

3. 土状(粉末状)、微浸染、半显微构造;鈾矿物顆粒大小不到 0.015—0.020 毫米;这样的矿石不能进行机械选矿,因为鈾矿物极微細,而且在围岩中分散較均匀.

矿砂的对比度

根据鈾的分布均匀程度,矿床可以分为具有均匀的、不均匀的、很不均匀的和极端不均匀的矿点. 均匀和不均匀的矿点是沉积矿床的特征,很不均匀的和极端不均匀的矿点是热液矿床的特征.

矿体范围以內的鈾矿物形成各个浸染体、細脉、矿巢、堆积体,因此,不管是在矿体的各个

表5 鈾矿石工业类型分类表

矿石类别	矿石按鈾矿化划分的类型	矿石按矿砂成分划分的类型															矿石按鈾矿物析出之形式划分的亚类型									矿石品級				
		矽酸盐和鋁矽酸盐	碳酸盐			硫化物			鉄氧化物	磷酸盐			可燃有机岩			混合型矿石														
			含少量碳酸盐	含中量碳酸盐	含大量碳酸盐	含少量硫化物	含中量硫化物	含大量硫化物		含少量磷酸盐	含中量磷酸盐	含大量磷酸盐	煤	瀝青	炭質和瀝青質砂岩和其他岩石頁岩		浸染(从粗粒到微粒)	土状(粉末状)	块状	条带状	細脉状	斑点状(巢状)	細脉—浸染状	鱗片状和晶簇状	浸染状(分散乳油状)	一等(很富)	二等(富)	三等(中富)	四等(一般)	五等(貧)
内生类	非晶质鈾矿型	■	■	■	■	■	■	×	■							■	■		▲	■	■	■	■		▲	■	■	■	■	■
	晶质鈾矿型	▲	×			×	×	×	■							×	■				×	×			×			×	×	▲
	鈦鈾矿型	▲															■												×	▲
	含鈾的鈦、鋯、鈮、鉭、釷和稀土矿物組成之矿石	▲	×														■								×				×	▲
外生类	非晶质鈾矿型	×	▲		×								▲	×	×	×	▲				×	×	×		▲			×	▲	▲
	鈾石型													■	▲		■								■			×	■	▲
	鈾黑型	■	■	▲	■	■	▲	×			▲	×	▲	▲	▲	▲	■	■		▲	▲	■	▲		■		×	▲	■	■
	氫氧化物型	▲	×														▲		×	×	▲	▲	×		×	×	×	×	×	×
	矽鈣鈾矿–矽鉛鈾矿型	■	×													×	■	×			×	▲	×		×			▲	■	▲
	鈣鈾云母–銅鈾云母型	▲	×	×												×	■	×			×	▲	×	▲	×			×	▲	▲
	砷鈣鈾矿–翠砷銅鈾矿型	×	×														▲					×		×	×				×	×
	鉀釩鈾矿–釩鈣鈾矿型	▲	▲	■	■											▲	■			×	×	▲			×			×	■	▲
混合类	混合矿石(非晶质鈾矿–鈾黑、非晶质鈾矿–氫氧化物，非晶质鈾矿–矽鈣鈾矿–矽鉛鈾矿，非晶质鈾矿–鉀釩鈾矿–釩鈣鈾矿等	■	▲	▲	▲	■	▲		▲				▲	×	×	▲	■	×	×	▲	▲	▲	▲	×	▲	×	▲	▲	■	■
未确定鈾矿化形式的矿石		▲	×	×	×					▲	■	■	■	■	■										■				■	■

附注 表中采用下列符号：■——分布极广；▲——分布广；×——分布不广

表 6　綜合的工业鈾矿石分类表

鈾在矿石中存在的形式	矿石按有用組分共生情況划分的类型	鈾和其他組分的、具有工业意义的矿物	按矿砂成分划分的矿石类型：矽酸盐和鋁矽酸盐	碳酸盐：含少量碳酸盐	碳酸盐：含中量碳酸盐	碳酸盐：含大量碳酸盐	硫化物：含少量硫化物	硫化物：含中量硫化物	硫化物：含大量硫化物	鉄氧化物	磷酸盐：含少量磷酸盐	磷酸盐：含中量磷酸盐	磷酸盐：含大量磷酸盐	可燃有机岩：煤	可燃有机岩：瀝青	可燃有机岩：炭質和瀝青質頁岩和其他岩石岩砂	混合矿石
鈾和其他有用組分参加真鈾矿物的成分	鈾-釩型	鉀釩鈾矿、釩鈣鈾矿	▲	■	■	■											
	鈾-稀土-鈦型	鈦鈾矿	■	■	×												
鈾和其他有用組分参加含鈾矿物的成分	鈾-稀土-釷型	独居石	■														
	鈾-釷型	釷石，鈾釷石	■														
	鈾-鋯型	曲晶石，水鋯石	■	■	×												
	鈾-鈦型	鈦鈰鉄矿	■	■													
	鈾-稀土-鈦-鈮型	褐釔鈮矿，鈣鈮水石，鈦鈮鈾矿，复稀金矿，杂鈮矿，黑稀金矿等	■														
鈾和其他有用組分参加造岩矿物成分	鈾-磷型	細晶磷灰石，庫尔斯克石，氟磷灰石			■	■		■	■		×	■	■				▲
	鈾-煤型	非晶質鈾矿，鈾黑，金属有机化合物(?)，煤												■		■	
鈾和其他有用組分参加各种不同的矿物的成分	金-鈾型	晶質鈾矿，非晶質鈾矿，自然金	■				■	▲									
	鈾-鉄型	晶質鈾矿，非晶質鈾矿，赤鉄矿，磁鉄矿								■							■
	鈾-銅型	非晶質鈾矿，鈾黑，黃銅矿，斑銅矿，輝銅矿					■	■	■								
	鈾-鉬型	非晶質鈾矿，鈾黑，輝鉬矿，鉬鈣矿，鉬鉛矿	■	■	■	■											
	鈾-銅-鉬型	晶質鈾矿，非晶質鈾矿，黃銅矿，輝鉬矿					×	■	■								
	鈾-多金属型	非晶質鈾矿，鈾黑，方鉛矿，閃鋅矿	×				■	▲	×								■
	鈾-銅-鉍型	非晶質鈾矿，鈾黑，輝鉍矿，自然鉍	×				■	▲									
	鈾-銅-鈷型	非晶質鈾矿，晶質鈾矿，水非晶質鈾矿，黃銅矿，卡硫鈷矿，斑銅矿，輝銅矿，自然銅，方輝鎳矿	▲				■	▲	×								
	鈾-鎳-鈷-銀-鉍型	非晶質鈾矿，水非晶質鈾矿，鈾黑，鎳、鈷、銀的复砷化物和硫砷化物，輝鉍矿，自然鉍，銀					■	■	×								▲
	鈾-鎳-鈷型	非晶質鈾矿，針硫鎳矿，輝鈷矿，粒輝鎳矿，輝砷鎳矿，砷鎳矿		×	■		×										

附注　表中采用下列符号：■——分布极广；▲——分布广；×——分布不广

不同点上，或是在打下的一块矿砂中，鈾含量变化都很大。从鈾含量很高的地段急剧轉为无矿地段的情况，要算在热液矿床和伟晶岩矿床中最为常見。

鈾矿点的断續性和不均匀性，以及結构构造特点和鈾矿化的性質，决定了所打下矿石的放射对比度，也就是指在各个矿石块中鈾含量比矿砂中的含量高多少。矿石分为有高、中和差对比度的，以及无对比度的矿石[4]。高对比度和中对比度的矿石里，鈾在矿块中的含量比在矿砂里的平均含量高数十倍、以至数百倍。有对比度的矿石，具有块状、斑点状、稠密浸染、条带状的构造，具有大、中、小直径的矿物集合体（热液矿床和伟晶岩矿床的矿石）。

对比度不显明的矿石，矿块中鈾含量比矿砂中平均含量高不了多少（2—3 倍于后者）。矿石构造以微浸染构造为主，一般具有較均匀分布的矿石包裹体（热液交代矿床和变質成因矿床的矿石）。

无对比度的矿石中，鈾矿物在矿砂中分布較均匀，呈乳浊状和微分散浸染体状（主要是沉积矿床的矿石）。

結　論

表 5，6 所示之鈾矿石分类一般形式，綜合地反映了影响矿石工艺处理的一些主要因素。根据鈾矿化的性質，矿砂的成分，构造特点和其他伴生矿物的存在，可以分出若干类型和变种。此处所列之分类（有别于現有的許多分类），最完全地反映了鈾矿石的某些特性，以及这些特性对工艺过程的影响。

这里提出的分类可提供对矿石进行一般工艺鑑定，把矿石归属于一定的标准类型，更快地把矿石作工业处理的可能性。

参　考　文　献

[1] W. Lennemann: *Engng and Mining J.*, **155**, No. 9 (1954).
[2] By. Thunaes: *Canad. Mining and Metallurg. Bull.*, **47**, No. 506, 128 (1954).
[3] Д. Я. Суражский: Методы поисков и разведки месторождений урана. М., Атомиздат, 1960.
[4] R. Zitting: *Mines Mag.*, No. 3, 53 (1957).
[5] Р. В. Гецева, К. Т. Савельева: Руководство по определению урановых минералов. М., Госгеолтехиздат, 1956.
[6] В. Г. Мелков, Л. Ч. Пухальский: Поиски месторождений урана. М., Госгеолтехиздат, 1957.
[7] Д. Эверхард: Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1955), т. 6. М., Изд-во АН СССР, 1958, стр. 305.
[8] Ю. Л. Черносвитов: Требования промышленности к качеству минерального сырья. Уран, вып. 67. М., Госгеолтехиздат, 1959.
[9] Б. Н. Невский: *Атомная энергия*. **6**, вып. 1, 5 (1959).
[10] В. И. Герасимовский: Месторождения урана зарубежных стран. М., Изд-во АН СССР, 1959.
[11] В. С. Домарев: Геология урановых месторождений капиталистических стран. М., Госгеолтехиздат, 1956.
[12] М. М. Константинов, Е. Я. Куликова: Урановые провинции. М., Атомиздат, 1960.
[13] Г. Е. Каплан, Б. Н. Ласкорин, Б. В. Невский: *Атомная энергия*, **6**, вып. 2, 113 (1959).
[14] В. Н. Котляр, Е. С. Кабанова, Б. В. Кристальный: Осостоянии сырьевой базы урана в капиталистических странах и методике поисковых работ на уран. М., Изд-во АН СССР, 1956.
[15] Н. С. Зонтов: *Атомная энергия*, **6**, вып. 6, 613 (1959).
[16] В. А. Глазковский: Геолого-минералогическке основы технологической оценки руд месторождений железа. М., Госгеолтехиздат, 1954.

关于应用浮选法淨化放射性废水的問題

伏兹涅先斯基 (С. А. Вознесенский)
謝列達 (Г. А. Середа)
巴斯可夫 (Л. И. Басков)
巴格列錯夫 (В. Ф. Багрецов)

本文指出，表面吸附有放射性同位素的氫氧化鉄能从水溶液中浮选出来. 已經查明，放射性同位素在浮选过程中实际上不被解吸. 研究了氫氧化鉄的浮选性与溶液的碱度，参与反应物質及外来杂質的原始浓度之間的关系. 对氫氧化鉄与所研究的浮选剂相互作用的化学特性作了推断.

文中也研討了有关在淨化放射性废水时生成的氫氧化鉄的沉淀物浮选的一些实驗数据.

近来发表了很多关于处理和脫除放射性液体废物的文章[1,2]. 由于对排到露天水池的废水有严格的卫生要求和这种废水的化学及放化成份的复杂，就需要同时应用不同的方法处理废水. 在預先处理时常常应用鉄或鋁盐加以凝結[1,3]. 在文献中指出，这些金属的氫氧化物对大多数放射性同位素是很好的吸附剂[4,5]. 此外，凝結时废水中的悬浮粒子也清除了. 然而，这时却得到大量的沉淀物（占被处理的废水体积的 2%）. 为了減小体积，就要求进一步进行处理[1].

現有的一些減小氫氧化物沉淀体积的方法（自然脫水、在离心器及真空过滤器上处理，热干燥[6]）有很多缺点. 这就要求探索新的方法.

本文介紹了用浮选方法減少氫氧化物沉淀体积的一些实驗結果. 早在第二屆日內瓦和平利用原子能国际会議上提出过这种处理方法的报告，这些实驗就是試图使放射性废水淨化的方法更趋完善[1].

实 驗 方 法

在蒸餾水或自来水（化学分析見表 1）中用下列方法进行沉淀. 在 1 竔水中以苛性鈉溶液凝結 $Fe_2(SO_4)_3$ 制备成必須浓度的 $Fe(OH)_3$ 沉淀的悬胶体；而后在用苛性鈉碱化介質时按 100 毫克/竔計，将鉄溶液倒入一定体积要处理的放射性废水中. 凝結了的沉淀靜置至必要的体积. 靜置过程进行一昼夜到 15 昼夜. 每一克要处理的沉淀中加入一克浮选剂. 曾試驗了几十种不同的浮选剂，这是科学院烏拉尔分院（УФАН.）化学研究所泊留斯宁（В. Г. Плюснин）好意供給的. 使用彼得洛夫煤油接触剂，即石油苯磺酸——用硫酐氧化煤油餾出液的产物，氫氧化鉄的浮选效果是好的. 以后所有的实驗都是应用預先用苛性鈉中和过的这种浮选剂来完成的.

自来水的化学分析　　表 1

pH	元素，毫克/升					可氧化性，毫克/升	干渣，毫克/升
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SO_4^{2-}	Cl^-	CO_3^-		
7.1	30.6	13.8	20.6	24.8	12.1	4.9	200

在研究放射性同位素的性能的实驗中，在加鉄盐以前，将放射性同位素加入到原始溶液中. 曾經研究过下列鈾裂变碎片的性能：Sr^{90}、Pm^{147}、Zr^{95}—Nb^{95}、Ru^{106}—Rh^{106}. 所有的制剂均是

化学純及放化純的，而且沒有載体。Sr^{90}、Pm^{147} 及 Ru^{106}—Rh^{106} 制剂是氯化物溶液，而 Zr^{95}—Nb^{95} 是草酸溶液。沉淀的原始比放射性在換算成 1 克氫氧化鉄时占 0.03—0.1 毫居里。

从这样制备的氫氧化鉄沉淀中按 100 毫升取样，并放入容量 500 毫升用有机玻璃制成的实驗室用浮选机中进行浮选。以高 15 毫米、直径 30 毫米、傾角 40—45° 的叶輪攪拌溶液。攪拌速度調整在 4300—5000 轉/分。

通过預先实驗确定最适宜的攪拌速度（4600 轉/分）、攪拌时間（2 分）及从溶液中分离浮选沉淀的时間（40—60 分）。所有的实驗都是在这些条件下进行的。在分离沉淀后，測量了这些沉淀的体积以及剩下的溶液的体积。根据所得到的浮选数据确定了沉淀体积的縮減系数，即浮选系数 $K_{фл}$。

在实驗中用一般的放射性測量方法，使用鐘罩式計数管及 Б 型仪器检查放射性同位素的情况。計数的相对誤差是 ±5%；用带有 П-6 型电位計的玻璃电电极測量溶液的 pH 值，測量精确度等于 0.1 pH。所有实驗是在 17—19℃ 进行的。每一次实驗重复做三、四次。

实 驗 数 据

在研究开始时，确定了每单位重量的氫氧化鉄浮选沉淀所需的浮选剂的最佳数量。在这次实驗及所有以后的实驗中，沉淀的量是 7 克/升，溶液的 pH 值是 8.5。所得的数据如图 1 所示。由图 1 看出，浮选剂的最佳数量是 1 克对 1 克 $Fe(OH)_3$。在选择的实驗条件下，进一步添加浮选剂并不能使 $K_{фл}$ 再有所增加。因此，在所有以后的实驗中都使用浮选剂对浮选沉淀的这种比例值。

众所周知，介質的 pH 值影响到許多矿物質的浮选。在我們的实驗中也遇到了同样的情形。正如以上指出，在文献中沒有氫氧化鉄浮选的数据，而我們也不了解介質 pH 值对 $K_{фл}$ 的影响，因此就曾作試驗，以了解得到氫氧化鉄沉淀的溶液的 pH 值的影响。实驗数据如图 2 所示。

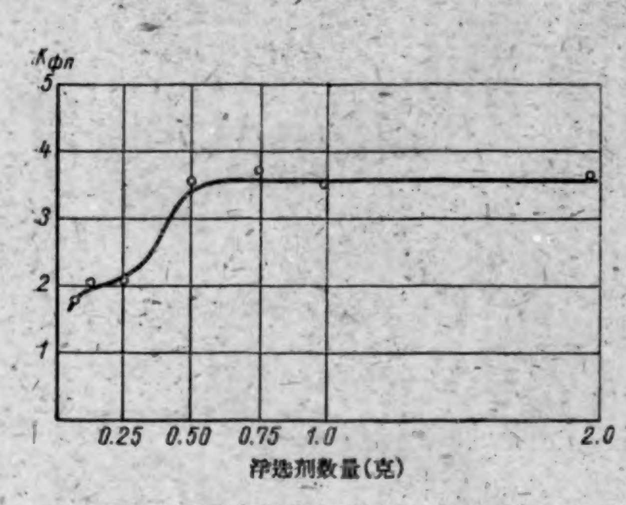


图 1 浮选剂数量对 $K_{фл}$ 的影响

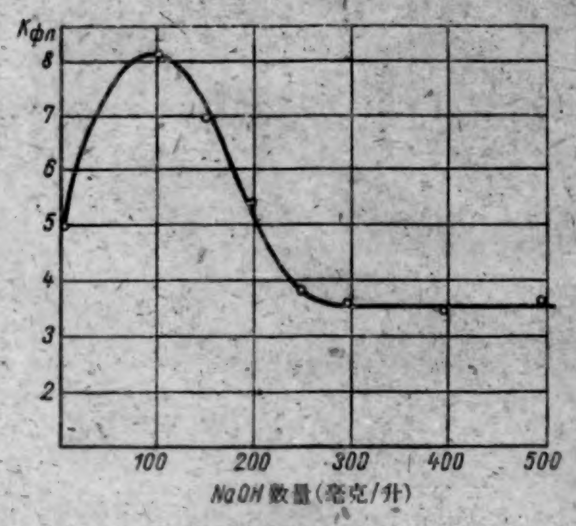


图 2 NaOH 的量对 $K_{фл}$ 的影响

如图 2 曲綫所表明，$K_{фл}$ 的确是随着 NaOH 的量改变而变化的。在中性介質[1]中 $K_{фл}$ 的值最大（～8.0）。当提高碱度到 200 毫克/升（混合攪拌后溶液的 pH 值約 8.0）时，$K_{фл}$ 值剧烈地下降到 3.8，而后才实际上保持不变。

对于浮选法的实际应用，主要是要知道在浆液中 $K_{фл}$ 与氫氧化鉄浓度的关系。其数据如

1）在溶液中加入 100 毫克/升的 $Fe_2(SO_4)_3$ 及 100 毫克/升的 NaOH 时，混合后溶液的 pH 值等于～7.0。

图 3 所示.

因为在处理氫氧化鉄沉淀的实践中可以遇到保存了一个月到 1.5—2 年期間的«老»沉淀，对于这类沉淀也作了浮选实驗. 此外，这种試驗又給了一些补充数据，根据这些数据可以間接地判断浮选的机理. 这些实驗的結果列于表 2.

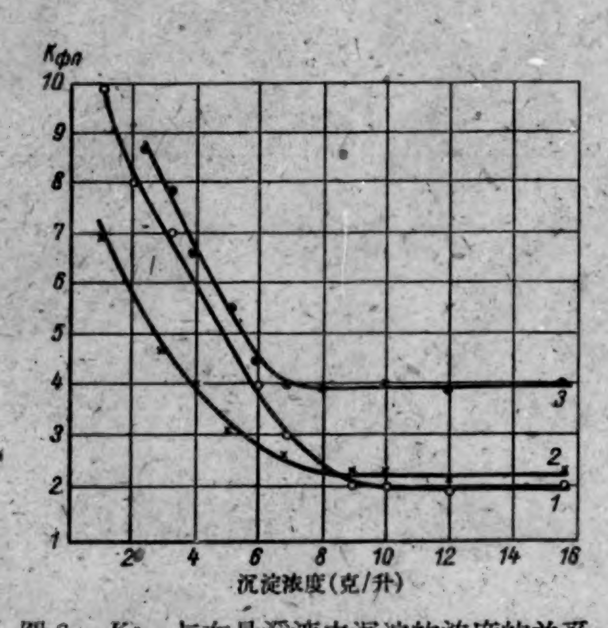


图 3 Кфл 与在悬浮液中沉淀的浓度的关系：
1、2——相应地对于在实际条件下形成的沉淀进行气动和机械攪拌；
3——对于在 1 升自来水中形成的氫氧化鉄沉淀.

氫氧化鉄沉淀的老化时間对浮选的影响 表 2

（攪拌速度 2000 轉/分）

沉淀时間（昼夜）	Кфл	浮选的必要时間（分）
新形成时	4	3.0
3	4	3.5
6	,,	5.0
9	,,	7.0
12	,,	8.5
24	,,	10.0
540	2	25.0

在淨化放射性污水时，它总是含有不同数量的阳离子及阴离子. 在这些污水中，最常遇到的离子有 Ca^{2+}、Mg^{2+}、CO_3^{2-}、SO_4^{2-}、Cl^-、NO_3^- 等. 曾經发現，$Fe(OH)_3$ 沉淀的凝固速度与某些盐类的浓度有关，其中有 $CaCO_3$. 从文献中[8]知道，不同的阴离子对泡沫的特性，特别是对它的稳定性的影响是各不相同的. 为了要弄清局外杂質的影响，曾作了实験，其数据如图 4 及图 5 所示.

在浮选时被氫氧化鉄沉淀所吸收的放射性同位素的性状

本文的目的，正如以上指出，是测定在淨化放射性污水时形成的氫氧化鉄沉淀的浮选可能性和条件. 因此，在确定了氫氧化鉄沉淀的最好的浮选条件后，就做了实験，以了解早先吸附在沉淀上的放射性同位素的性状. 数据列于表 3.

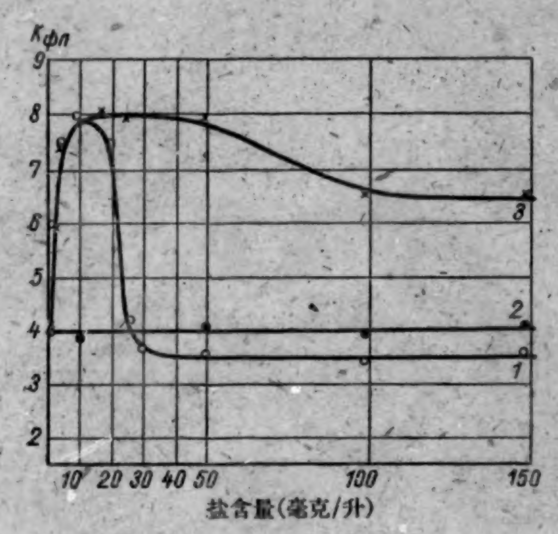


图 4 局外杂质对 Kфл 的影响

1——在有 $Ca(NO_3)_2$ 参与时;
2——在有 Na_2CO_3 参与时;
3——在有 $Ca(NO_3)_2$ 及 Na_2CO_3 的混合物参与时.

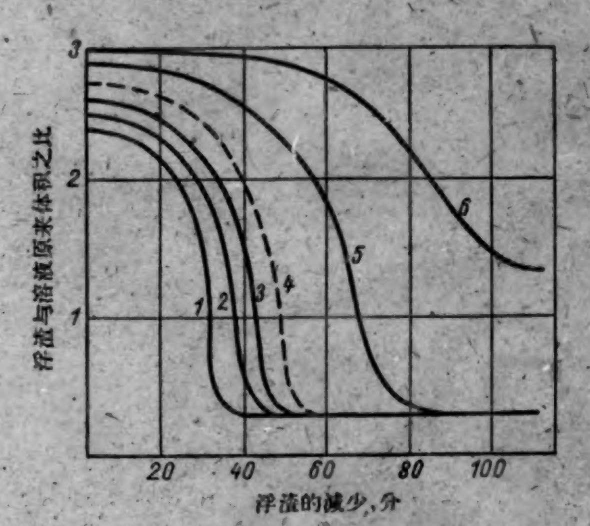


图 5 各种阴离子对泡沫稳定性的影响

1——加入 $NaNO_3$ 或 Na_2SO_4;
2——加入 Na_2CO_3 或 $Na_2C_2O_4$;
3——加入 $Na_2Cr_2O_7$ 或 NaAc;
4——在实际条件下生成的沉淀;
5——加入 Na_3PO_4 或 Na_2SiO_3;
6——加入 NaCl.

放射性在溶液中的分布% 表 3

同位素	原始溶液	凝結后溶液	浮选后溶液
Ru^{106}—Rh^{106}	100	37.60	−1.27
Pm^{147}	,,	0.40	−0.03
Sr^{90}	,,	6.50	+0.02
Zr^{95}—Nb^{95}	,,	1.10	+0.01

附注: 負号表示在浮选时一部分放射性从沉淀轉移到溶液中去;正号表示相反的現象.

結 果 討 論

如前所說,在实驗一开始时就曾試驗了許多用做浮选剂的物质. 研究得特別細致的是經过补充加工的煤油产物. 这些产物是原煤油、裂化瀝青、水氯化煤油、水氯化碱解煤油以及硫化皂化煤油. 了解到含有磺基成份的硫化皂化煤油具有从水溶液中浮选氫氧化鉄的能力. 所有其它被研究的物质沒有得到好的結果.

硫化煤油浮选氫氧化鉄的能力是由下面原因决定的:在攪拌时显然是产生了化学反应,生成了新的化合物,它有別于«純»的氫氧化鉄,能被浮选. 这种設想下列实驗的数据所証实: 氫氧化鉄沉淀与浮选剂混合,而在靜置后又以 20 倍体积的水洗滌. 在范德华力使沉淀与浮选剂相互产生物理作用情况下, 經过上述那样洗滌, 浮选剂就很容易从被浮选的物质的表面上排除,并且不起浮选作用[9]. 在我們的实驗中,用水洗滌后,浮选进行得很正常.

保存的(«老化»到一年半的)沉淀的处理表明:它也被浮选了,但这时浮选所必須的时間与沉淀的«老化»时間有关. 我們知道,沉淀愈«老化»,则其表面增加得就愈小,具有的吸附性能就愈低. 在我們的实驗中,需要較长的攪拌时間,以便浮选剂与氫氧化鉄相互起作用. 浮选系数却仍然和新形成的沉淀一样,即改变的仅仅是浮选速度. 这也表明了沉淀与浮选剂的相互作用的化学特性.

从图 2 中看出: 在中性介质中可得到被浮选了的最小体积(Kфл 大的)的沉淀. 氫氧化鉄的等电位点是在 pH = 7,即在这一范围內沉淀的含水量最小,因此浮选沉淀的体积也最小.

在淨化放射性污水时，在 $pH > 8.0$ 时，氫氧化鉄吸附放射性微量成份最完全[1,4]. 因此，所有以后的实驗都是在形成的沉淀 pH 大于 8.0 时进行的. 自然，这时 $K_{фл}$ 是小于最大値的.

由图 4 的数据可見，悬浮液中沉淀的浓度愈小，則 $K_{фл}$ 愈大. 这是因为由稀溶液中析出的氫氧化物沉淀的水分較大的緣故. 浮选后沉淀的水分大約一样，所以 $K_{фл}$ 随悬浮液中沉淀浓度的改变而有如此急剧的变化. 从浓度 8 克/升开始，継續增加氫氧化鉄的数量，不能使 $K_{фл}$ 減小.

上面已經提到加入一定量的某些物质，譬如細碎的白垩或大理石，就显著地加速了氫氧化鉄沉淀. 这时就获得含水較少的沉淀. 实驗結果［参閱图 4］表明：加入少量的硝酸鈣到悬浮液中就使 $K_{фл}$ 增加（曲綫 *1*）. 增加的原因是在 $Ca(NO_3)_2$ 的这种浓度下，由于溶液中含有 CO_3^{2-} 离子，就形成 $CaCO_3$ 沉淀. 加入大量的硝酸鈣，不会使分离出更多的碳酸鈣沉淀，这时它已产生象无关的电解質一样的影响. 因为在实驗中使用了含有少量硬性盐以及大量的 CO_3^{2-} 离子的水，加入苏打也不影响 $K_{фл}$（曲綫 *2*）. 可能在使用含有少量的 CO_3^{2-} 离子的硬水时，苏打及硝酸鈣影响就会相反.

加入一定浓度的 Ca^{2+} 及 CO_3^{2-} 离子（在我們的实驗中每 100 毫克的 $Fe(OH)_3$ 中有 10—50 毫克）也引起 $K_{фл}$ 的增加.

在图 5 上列出的数据，表明不同的阴离子对泡沫的稳定性的影响. 这些数据与其他研究人員[8,10,11] 所得到的結果是一致的. 具有使溶液起沫能力的阴离子可使泡沫稳定. 在我們所研究的阴离子中，具有这种性質的有 Cl^-、PO_4^{3-} 及 SiO_3^{2-}. 必須特别指出 Cl^- 的影响，因为有 Cl^- 离子存在就使泡沫极其稳定. 因此，在处理的污水中，极不希望有高浓度的 Cl^- 和应用氯化鉄进行凝結. 在浮选时会減低泡沫的稳定度的阴离子有 NO_3^-、SO_4^{2-}（浮选后泡沫体积很快地減小）. 对泡沫稳定性有类似影响的阴离子有 CO_3^{2-}、$C_2O_4^{2-}$、$Cr_2O_7^{2-}$ 及 Ac^-，虽然它們的影响不象 NO_3^- 及 SO_4^{2-} 那样強. 在处理的污水中类似的阴离子数量在每 100 毫克 $Fe(OH)_3$ 中有 2 克，不会改变 $K_{фл}$. 此外，这类阴离子存在加速了浮选沉淀体积的減小过程，因此增加了設备的生产能量.

浮选氫氧化鉄沉淀所进行的实驗（在氫氧化鉄沉淀上早已吸附了不同的放射性元素［参閱表 2］）証明，在浮选时不会产生放射性元素的显著的解吸作用. 这說明放射性元素和氫氧化鉄的相互作用很好，并且如許多研究者所指出的一样化合物或因溶体的生成也很好[5,6].

根据本研究結果有理由推測，即不仅是結晶的氧化物质可以浮选，而且胶状沉淀也可以. 为此必須选择适当的用作浮选剂的物质. 也可以期望，其它的金属氫氧化物（例如鋁）以及某些盐类也具有被浮选的能力.

最后必須指出，浮选在淨化放射性污水时产生的氫氧化鉄沉淀能够成为一种有前景的可以減小沉淀体积的方法.

参 考 文 献

[1] С. А. Вознесенский и др: Тр. Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Докл. советских ученых. Т. 4—Химия радиоэлементов и радиационных превращений. М., Атомиздат, 1959, стр. 189.

[2] R. Burns, M. Stedwell: *Nucl. Engng. Sci. Conf.*, **3**, No. 57—58, 11 (1957).

[3] A. Wolman, A. Ghorman: *J. Instn Water Engrs*, **7**, No. 4, 319 (1953).

[4] В. В. Пушкарев: *Ж. неорганич. хим.*, **1**, № 1, 170 (1956).

[5] С. А. Вознесенский, В. В. Пушкарев, В. Ф. Багрецов: *Ж. неорганич. хим.*, **3**, № 1, 235 (1958).

[6] E. Horner, G. Sifrin: *Engng News-Rec.*, **151**, No. 6, 37 (1953).

[7] Керосиновый контакт Петрова, ГОСТ-463-53.

[8] Е. А. Филатова: Тр. Харьковского политехн, ин-та, № 8 (1956).

[9] О. С. Багданов: Флотация (вопросы теории и практики). М., Металлургиздат, 1945.

[10] W. Lockett: *J. and Proc. Inst. Sewage Purific.*, No. 3, 225 (1956).

[11] T. Nash: *J. Appl. Chem.*, **7**, No. 7, 392 (1957).

波兰 BBP-C 型反应堆运行一周年[1)]

阿列克山德洛維奇 (Еже Александрович)

原子核研究所　華沙

本报告对反应堆运行一年間的利用率作了評論．为了簡化运行和扩大装置的实驗能力，在反应堆結构及其設备方面的改变和补充作了敍述．此外还附有与反应堆物理和工程特性有关的某些測量結果．

苏联供应的波兰第一个 BBP-C 型核反应堆于 1956 年 4 月开始建造．反应堆物理起动在 1958 年 5 月 31 日实現．一开始就达到在額定功率 2000 瓩下工作的能力．

本报告中列举的大多数工作是由波兰科学院原子核研究所的反应堆运行研究室、核物理研究室 IA 和 IБ、以及反应堆工程研究室完成的．作者包括有：

巴博尔 (Байбор З.)、别古舍夫斯基 (Бегушевски З.)、别連斯 (Беренс Т.)、多莫斯拉夫斯基 (Домославски З.)、札尔諾維茨基 (Жарновецки К.)、科夫納茨卡雅(Ковнацкая Я.)、拉布諾 (Лабно Л.)、奥康諾尔 (Оконнор Д.)、奥帕托夫斯基 (Опатовски А.)、波斯特 (Пост Р.)、雅西尼斯基 (Ясиньски А.)、舒尔茨 (Шульц П.)．

1. 对反应堆利用率的評論

从起动到現在为止，除了最初期間以外，波兰反应堆平均每周按两班工作四天，即每周大約工作 60 小时．

关于反应堆功率利用率的詳細数据表在图 1 和图 2 上．

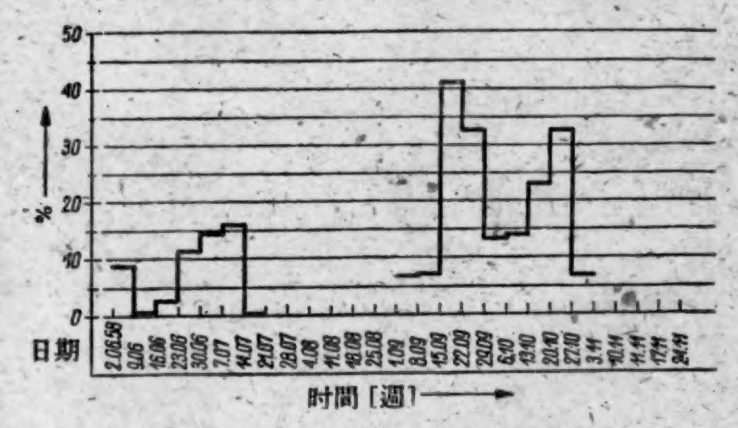


图 1　波兰 BBP-C 型反应堆功率的百分利用率(а)．(取反应堆在 2 兆瓦功率下 6 昼夜中連續工作为 100%)

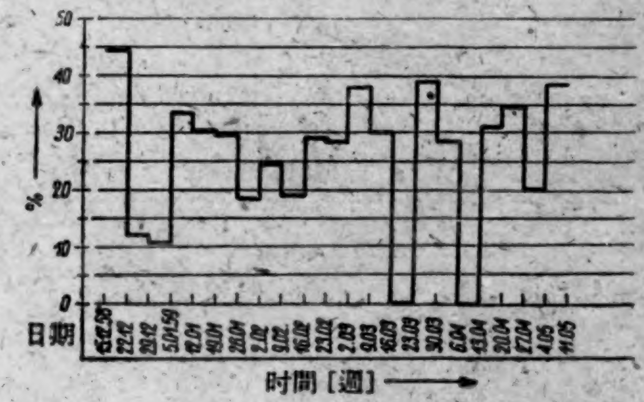


图 2　波兰 BBP-C 型反应堆功率的百分利用率(б)．(取反应堆在 2 兆瓦功率下 6 昼夜中連續工作为 100%)

这个时期的大部分，反应堆都在額定功率 2000 瓩下运行．裝載量是 32 个释热元件盒．燃耗到現在为止是 2300 兆瓦小时．較詳細的数据将在下面表出．

反应堆中央大厅的概貌图示于图 3 和图 4．九个水平实驗孔道經常用来做下列工作：

2 号和 4 号孔道——晶体中子譜仪，

---

1) 报告是 1959 年 6 月 24—27 日社会主义国家在杜布納举行的反应堆会議上提出的．报告登載时作了节略．

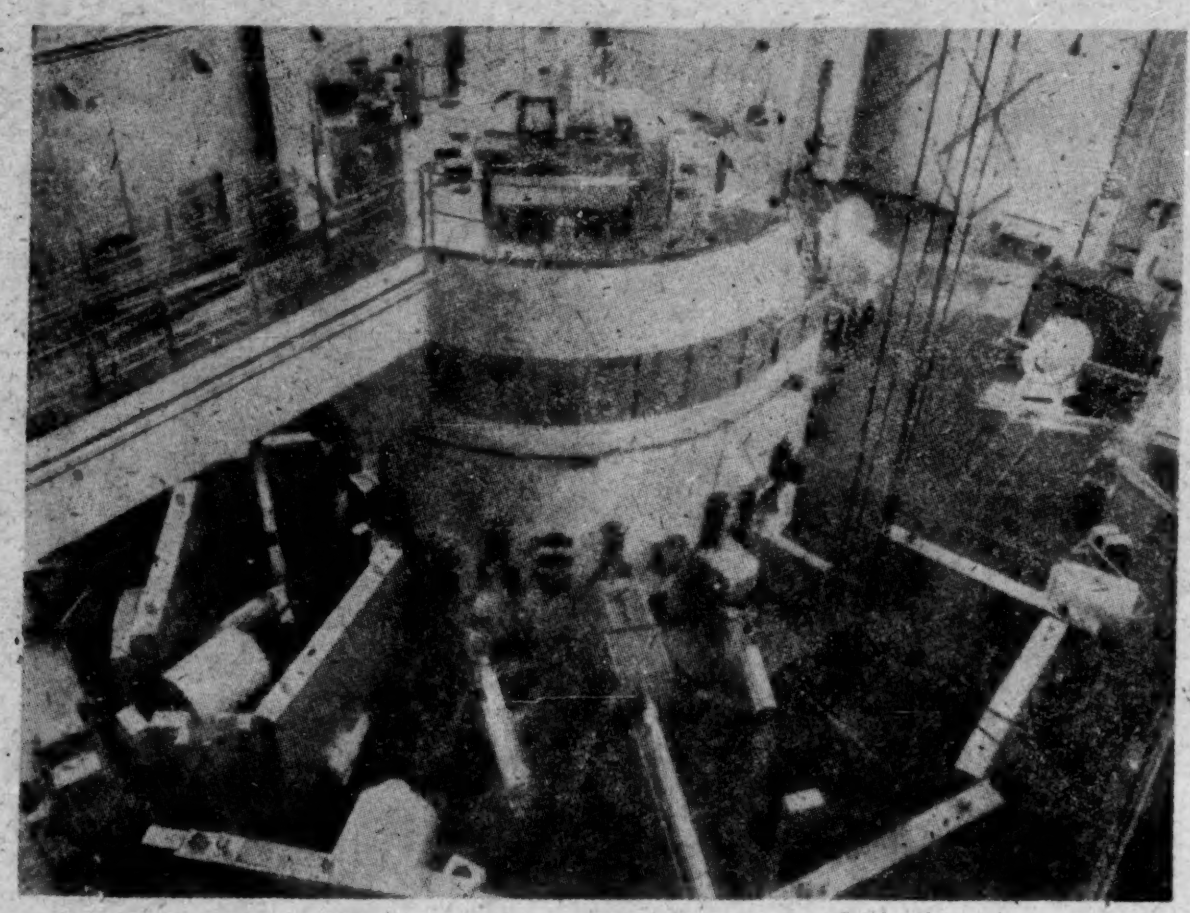


图 3 中央大厅概貌 (a)

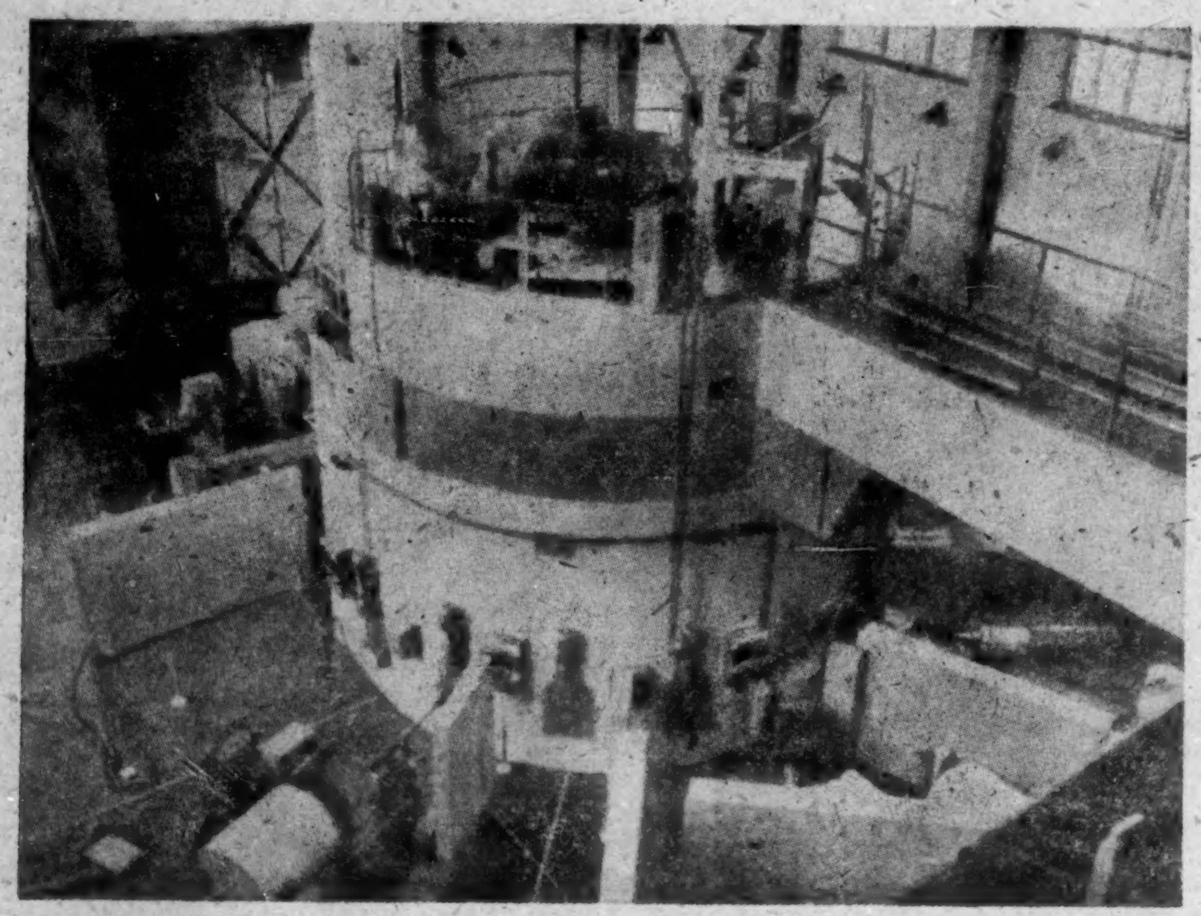


图 4 中央大厅概貌 (б)

3 号孔道——研究中子輻照对半导体的作用，

5 号孔道——装了带晶体单能器的准直仪，用来研究中子与液体中化合氫分子的散射，

8 号孔道——研究慢中子与各种中等重核之間的势散射.

在 9 号孔道中装有快中子机械选择器.

10 号孔道(热柱)用于簡单的热中子机械选择器.

其余的水平孔道(1、6、7 号)用来輻照各种样品、研究中子捕集器和附加防护层、以及其它工作.

至于說到垂直孔道，則因为活性区沒有完全装滿，在反应堆中（除了 8 个所謂生产放射性同位素的孔道以外）有 19 个置换器可以用来輻照样品. 特别是常常利用热柱的垂直孔道来輻照供放射化学研究用的样品. 所謂生物孔道直到现在还沒有利用.

2. 为了簡化运行和扩大实验能力而在反应堆結构及其設备方面的改变和补充

BBP-C 型反应堆是很成功和很好的实驗装置（特别对于在掌握和平利用核能方面刚迈出第一步的那些国家来說更是如此），但是它当然不可能滿足所有的实驗要求.

根据实驗組的提議，在反应堆安装期間及其以后，作了一系列的补充. 其中有些可以在这里簡单地列举如下.

2.1. 活性区范围内的补充

在反应堆活性区范围内附加了下列垂直孔道（見图 5）:

1）直径 105 毫米的孔道和直径 60 毫米的孔道，用来試驗我們研究所制造的中子电离室和其它中子探测器，

2）反应堆振蕩器用的直径 60 毫米的(可抽出的)孔道，

3）輻照样品用的直径 56 毫米的短孔道，

4）活性区和容器桶之間附加的机械手操纵孔道.

2.2. 附 加 防 护 层

BBP-C 型反应堆建筑物的設計規定：每个水平实驗孔道都有建筑物实驗部分的一个房間与之发生联系，可以把电纜从装在孔道旁边的装置引向这些地方. 但是在大多数情况下物理学家直接在孔道附近工作要方便得多.

为了保証劳动安全和減少中央大厅的輻射本底，补充了許多可移动的装置，即：

1）$3 \times 1.8 \times 0.3$ 米的鋼-水层，

2）灌滿硼丁烷的鋼砖，

3）中子和 γ 輻射的捕集器，它对着孔道軸心装設.

这个附加防护层表在图 6 上.

此外还附加了水平实驗孔道挡板的远距离操纵装置.

2.3. 附加的装料-卸料装置和輻照样品貯藏井

要比現时更广泛地利用反应堆，必須改进工作的組織，即要求同一时間內在同样功率水平下能够做更多的实驗. 如經驗所証明：无論是物理学家还是化学家常常需要尽可能高的中子通量. 这意味着：如我們已經提到的那样，反应堆大部分时間都要在額定功率下工作. 但是同

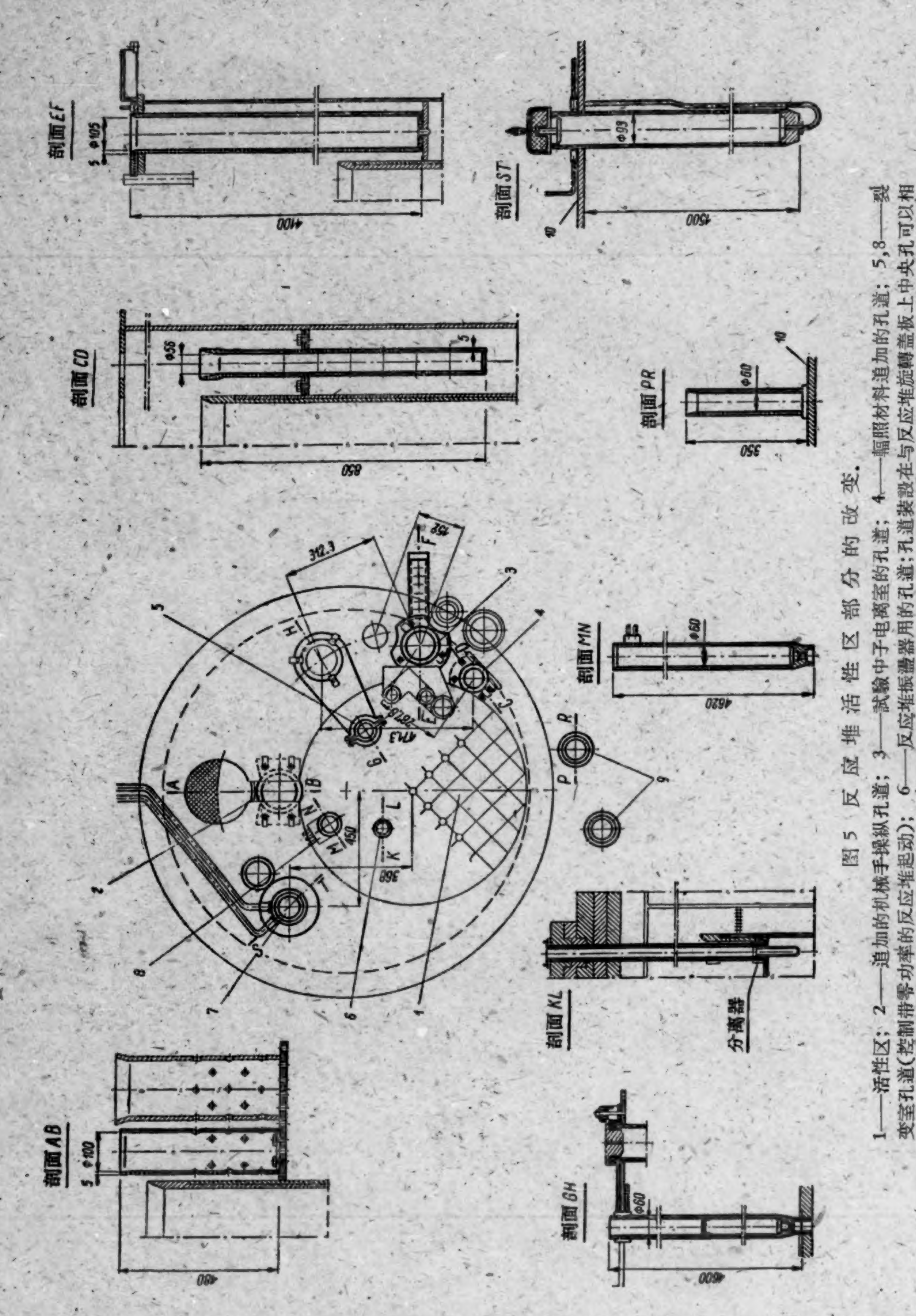


图5 反应堆活性区部分的改变.

1——活性区；2——追加的机械手操纵孔道；3——試驗中子电离室的孔道；4——輻照材料追加的孔道；5,8——裂变室孔道(控制带零功率的反应堆起动)；6——反应堆振盪器用的孔道；孔道装設在与反应堆旋轉盖板上中央孔可以相通的工艺区段内的一个地方；7——研究释热元件完整性的真空室；9——把从活性区中取出的輻照样品加以保存的筒状貯藏井；反应堆鉛制盖板(位于鑄鉄旋轉盖板之間).

时这也意味着：把物理学家和放射化学家的实驗样品加以輻照所需的大多数装卸操作要在装置满功率的情况下进行．这特别与所有的短时輻照有关．我們經常需要与之打交道的样品輻照后的放射性一般不高于几个毫居里甚至只有几个微居里．

因此制造了特殊的設备，它可以通过装置頂盖板安全地把放射性大約不超过 1.5 居里 的

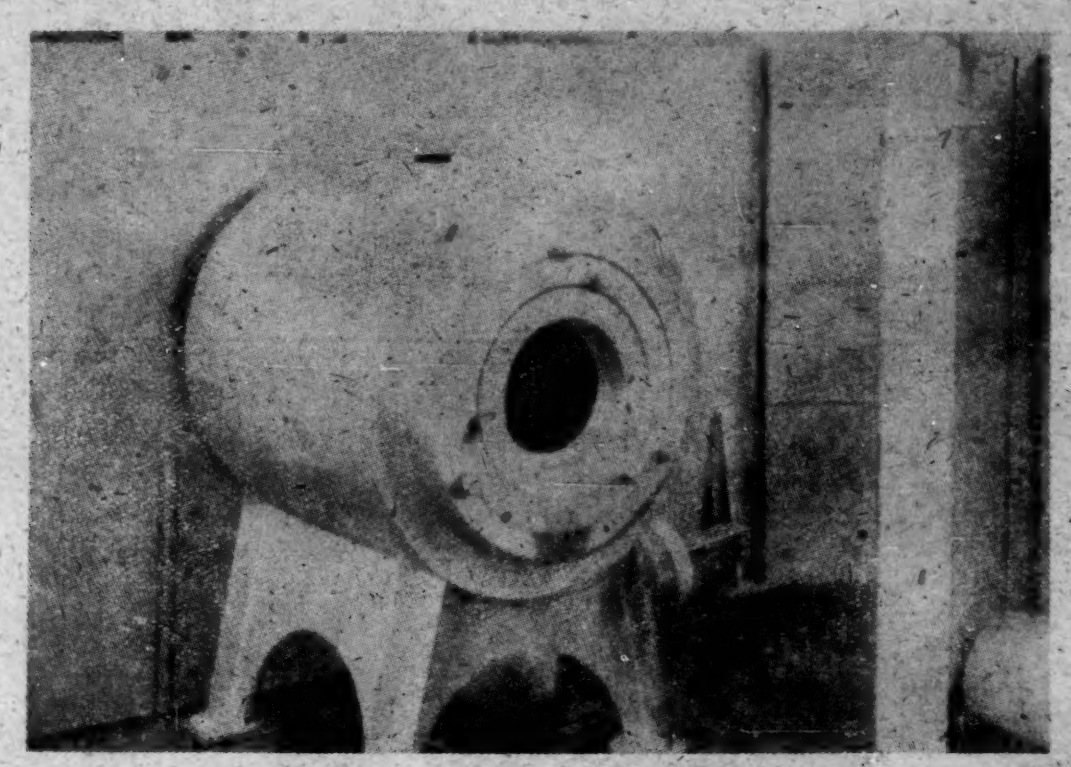
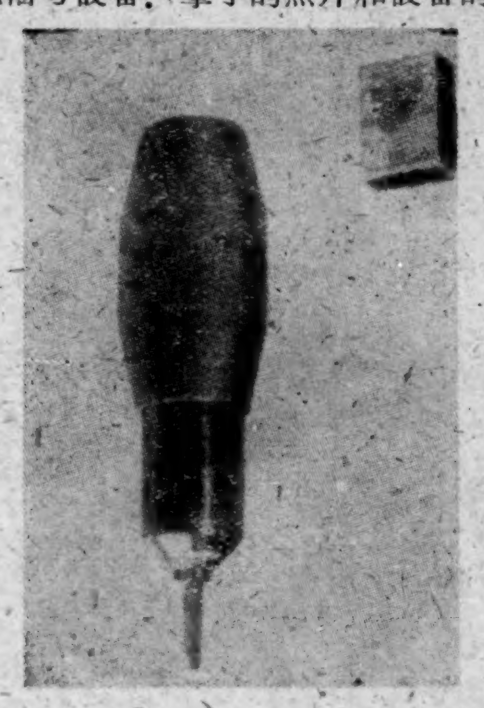


图 6 附加的防护-捕集器組(鋼水层和带丁烷的砖)

样品取出. 这个設备由包括特殊电磁掣子的所謂机械手操纵容器組成. 这个掣子起一个装料机构杆的作用, 它可以借助繩子放到活性区任何长的垂直孔道中或放入热柱中. 掣子有夹住样品的电信号設备. 掣子的照片和設备的动作表示在图 7 和图 8 上.



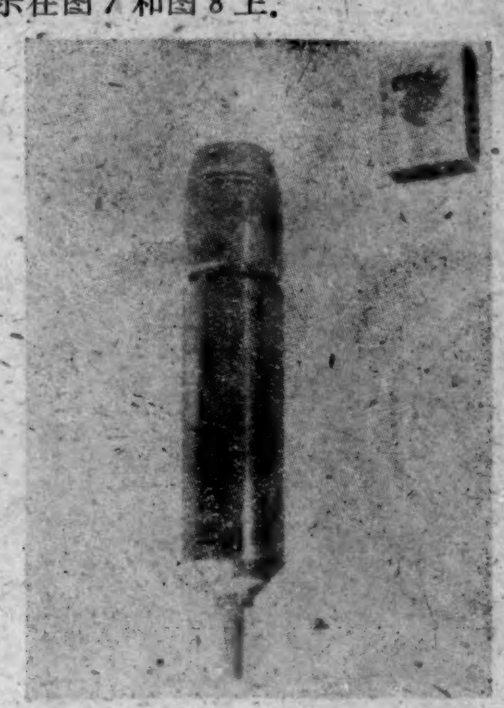


图 7 电 磁 掣 子

机械手操纵容器可以安在装置旋轉盖板上面,热柱孔道上面以及其它地方.

利用电磁掣子不仅可以从反应堆上部把样品取出, 而且可以把它們放到热室或貯藏井中去. 此时沒有必要抛擲样品, 而可以直接把它們放到小箱本身或容器中. 同时也保証可以反过来把样品送回反应堆. 对于准备最近期間在反应堆內再生用于工业探伤的鈦和其它 γ-輻射源来說;这一点有特別的意义.

除了上面所說的以外,还有另外的利用带螺旋形孔的特殊塞子的办法,也可以在滿功率下装卸样品.

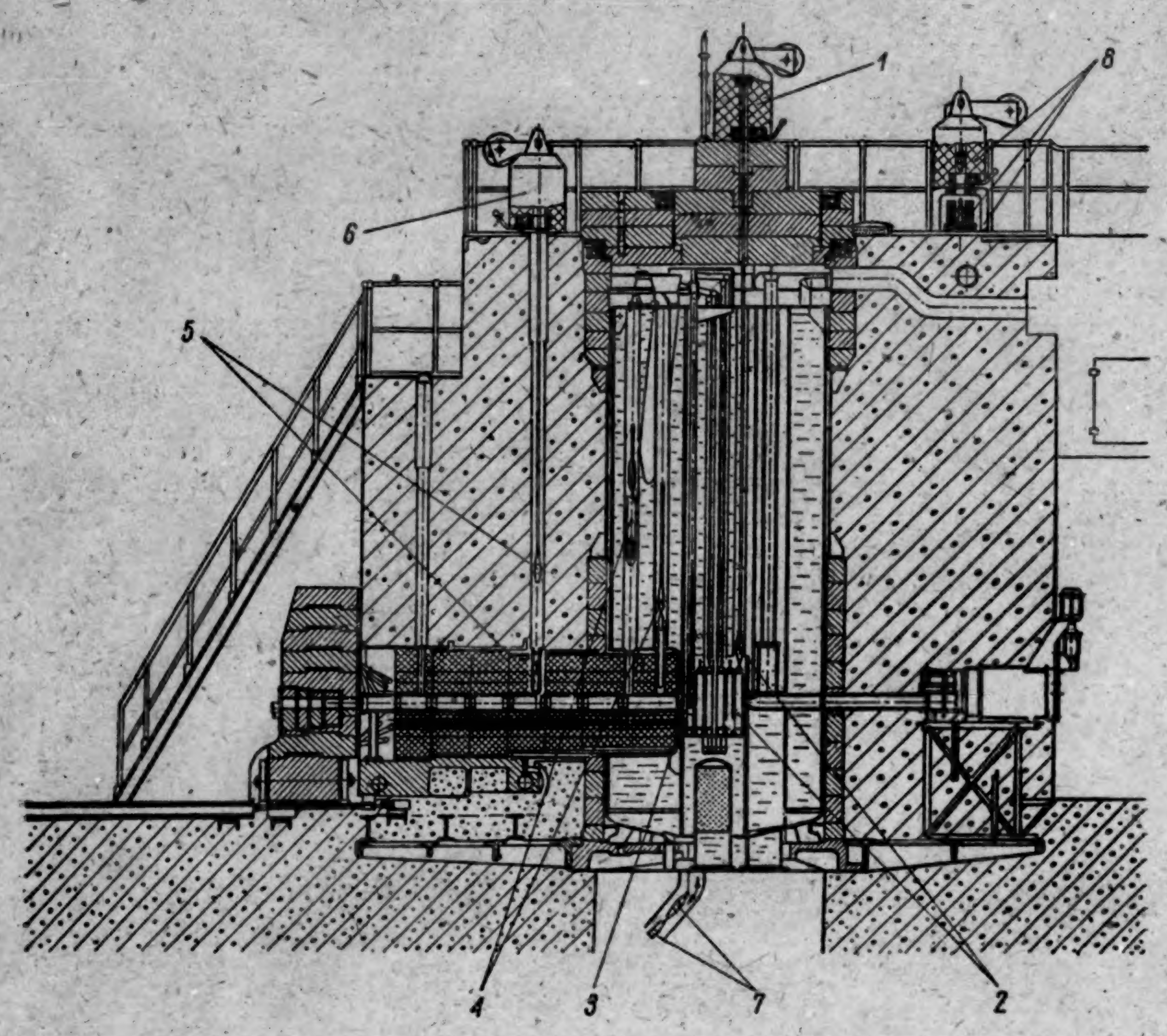


图 8 反应堆垂直孔道的装料和卸料示意图

1——装在旋轉盖板中央小孔上的容器； 2——夹住工艺部分的瞬間； 3——制备放射性同位素的孔道(短的或长的）中的製子； 4——处于移动小車中的带着热柱孔道中样品的套子．套子的装卸都借助于製子和容器； 5——处于生物防护层中的带着热柱孔道中样品的套子； 6——在热柱孔道上面的容器； 7——接热室的拋擲孔道中的带着样品和製子的套子； 8——換料平台上的容器.

为了把样品移往輸送容器中，在反应堆中央大厅将装設特殊的平台.

因为我們計划逐步增长輻照数目，而因之也就增加各种放射性材料的數量，故而設計了保存它們用的追加的干燥貯藏井：一个装在反应堆外壳上面，另一个是带有很多孔的移动式的.

除了上述垂直实驗孔道装卸料用的設备以外，还做了許多装置，保証水平孔道在反应堆工作期間可靠的服务.

3. 主迴路的淨化和防止腐蝕．离子交換器的接入

3.1. 概　論

在 BBP-C 型反应堆的主迴路中，作为慢化剂、反射层和冷却剂的都是蒸餾水，因此对它的純度提出很高的要求．水的高純度主要影响到在活性区中、反应堆外壳中、以及主迴路其它重要构件中可能发生的腐蝕的速度．此外，在反应堆正常运行时下列事实不是不重要的，即主迴路水的放射性将随着其中污垢积累的程度和随着它們在反应堆內滞留时間的增长而增长．水的放射性还將随溶入其中的杂质浓度的增加而增加．由此得出結論：經常地淨化主迴路、把相当高純度的水加入主迴路中、以及以后保持这个純度所采用的方法，在反应堆运行期間都有决定性的意义.

3.2. 反应堆起动前主迴路的淨化

主迴路中的固体和不溶解的杂质主要是建筑时的灰、砂和油漆、碎布、填料等安装殘渣，它們在用蒸餾水第一次冲洗主迴路时就借助于特殊机械过滤器清除掉了，过滤器临时插入热交换器进口前面的主迴路中．由于在閥門、水泵本体以及鋼管的某些段落中积有不能湿潤的殘渣，为了改进冲洗工作，在主迴路水中加入了大約 350 立升 30% 的密尔佐里雅特（一种浮选剂）（去污剂：鈉的烴基-芳基-磺酸盐）溶液．經驗証明：主迴路的冲洗是良好和有成效的．冲洗前后对水分析的結果使人确信：用去污剂来冲洗主迴路是合理的．冲洗后的主迴路于 1958 年 5 月末灌滿蒸餾水，其中包含 1.6 毫克/立升左右的干殘渣和大約 0.02 毫克/立升的鉄．

3.3. 旋轉盖板和主迴路閥門的除銹和防止腐蝕

因为从旋轉盖板的生銹的孔中可能有一些鉄落入主迴路的水中，所以要清除所有沒有防腐蝕的盖板表面上的鉄銹，以后再作鈍化处理和涂二次耐酸漆．在对反应堆主迴路內已經装好的閥門作了检驗后，这些閥門的內表面都复以显示它們上面发生腐蝕的附加薄膜．閥門上鉄銹的清除和防止它們进一步腐蝕是在冷态下用特别配置的溶液来搞的．主要溶液的成分为：

5.2 公斤	H_3PO_4
0.3 公斤	$Mn_3(PO_4)_2 \cdot 3H_2O$
1.3 公斤	$Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$

根据到現在为止对主迴路水所作的分析，可以認为：所用的清除鉄銹和防止閥門腐蝕的方法給出了滿意的效果．

3.4. 离子交换器的接入

由于在反应堆工作的半年中主迴路水质降低，因此必須接入离子交换器，何况暂时还沒有把主迴路水排入废水箱的条件．

在这种情况下，决定向肯德泽仁的氮气工业联合企业购买全部适合的吸附剂，即：

1）本国生产的 MK-3 強酸性阳离子置换剂，

2）外国（荷兰）生产的 I_{mac} — S4 強碱性阴离子置换剂．

离子置换剂预先在实驗室条件下作了研究．

用洗淨的离子置换剂制成了吸附剂的混合物．过滤器中吸附剂混合物的組成如下：120 立升的阳离子置换剂和 100 立升的阴离子置换剂．将吸附剂装入过滤器时特别要注意把离子置换剂大小不等地鋪設在一起，使其中不积存空气，并使由于阴离子置换剂和阳离子置换剂不同密度引起的凸出水中的离子置换剂层減到最小．虽然离子交换器在水流动速度大約为 10 米^3/小时的条件下总共接入 10 个小时左右，但已得到下列結果：

主迴路水的干殘渣从 12 毫米/立升減到大約 0.4 毫克/立升，

电阻率从 $0.09 \cdot 10^6$ 欧姆·厘米增加到 $2.3 \cdot 10^6$ 欧姆·厘米，

放射性从 $4 \cdot 10^{-5}$ 微居里/厘米^3 降到 $7.6 \cdot 10^{-7}$，微居里/厘米^3，

这些結果表明：离子交换器将可以正常地工作．主迴路水在温度 20℃ 时 pH = 6.8.

根据在实驗室中对所用离子置换剂效用估价的結果，并根据对主迴路水的放射性和电阻的测量，决定了使用离子交换器的工作細則．細則規定：每周于反应堆起动前把过滤器接入一次，每次几个小时．过滤器进口水的最高容許温度采用 20℃，而水流量大約为 10 米^3/小时．

3.5. 主迴路水的分析

从1958年3月25日到现在[1]的这个时期内，为了控制干殘渣的数量和成份、电导率、氫离子浓度和放射性，对主迴路水作了200次左右的分析．水中鉄的浓度到现在为止在主迴路中保持在固定的低水平上，与一年前相类似，而鋁的浓度只有很小的增加．由上述事实应該得出結論：主迴路中腐蝕速度是很慢的．一年来对主迴路水的分析結果表明：反应堆水中污垢的主要来源首先是反应堆水中的尘土．使用很簡单的过滤器，过滤从反应堆中央大厅进入除气器的空气，給出了良好的結果．但是这个补充办法不能完全消除空气中的灰尘这一主迴路水的污垢来源．

最近的测量表明：在主迴路水中有数量不多的非常細小的离子置换剂粒子，它們吸附着一些放射性污垢．这些小质点通过离子交换器时不会被挡住，但是試驗表明：它們很容易被机械过滤器（所謂古契过滤器）捉住．这証明得到較高质量的水是可能的．水分析的最有代表性的結果收集在下表中．

BBP-C 型反应堆主迴路的水分析的典型結果

試样号碼 No.	取水試样的日期	水溫℃	pH	干殘渣 毫克/立升	鉄的含量 毫克/立升	电阻率 ×10⁻⁶ 欧姆·厘米	放射性（长命的）微居里/毫升	备注
1	2	3	4	5	6	7	8	9
135	12.11.1958	18	6.3	12.0	×	0.09	$4\cdot10^{-5}$	放射性是在取試样后5天离子交换器起动前测定的.
147	11.12.1958	15	7.4	0.4	×	2.1	$2\cdot10^{-7}$	这个試样的放射性在14.5.1959 测得.
156	2. 1.1959	18	6.7	0.6	約0.01	1.05	$1.1\cdot10^{-6}$	” ”
162	16. 1.1959	10	7.1	1.0	約0.01	1.03	×	” ”
170	23. 2.1959	15	6.8	1.6	0.03	0.97	$3.9\cdot10^{-6}$	” ”
176	16. 3.1959	18	7.2	2.0	0.09	0.95	$1.7\cdot10^{-5}$	” ”
189	20. 4.1959	21	×	2.4	0.08	×	$2.8\cdot10^{-5}$	这个試样的放射性在16.5.1959 测得.
192	11. 5.1959	20	6.8	3.4	0.07	0.80	×	

×—沒有测出.

4. 与反应堆物理和工程特性有关的某些测量結果

在这个簡短的报告里，当然不可能詳細叙述所有做过的实驗．我們只是限于指出某些测量結果．其中包括：

1. 与反应堆控制和动力学有关的运行过程的测量．
2. 反应堆内溫度分布的测量．
3. 反应堆活性区内热中子和快中子通量分布的测量以及中子和 γ 輻射能譜組成的研究．

4.1. 与反应堆控制和动力学有关的运行过程的测量

这些测量主要是指后备反应性及其变化．

---

1) 1959年4月15日（作者注）．

4.1.1. 控制棒刻度

BBP-C 型反应堆装了 25 根工艺管，即 32 公斤 U^{235} 后达到临界. 为了造成必要的后备反应性，又再装了 7 根管. 这样造成的后备反应性等于 $\delta_{K} = 5.4\%$. 在活性区空着的地方装进 19 个置换器后这个后备減少到 $\delta_{K} = 4.8\%$. 在这个状态下依据插入活性区的深度按单位反应性进行控制棒的刻度（見图 9）.

PP-1 和 PP-2 手动控制棒的总补偿能力为 6.4%，而事故棒为 5.8%.

因为我們研究所的反应堆物理实驗室要研究反应堆振蕩器，这迫使我們去增加测量反应堆内反应性变化的精确性，所以把硼制的精密調节棒改为直径 7.7 毫米的鋼棒. 在此之后精密調节棒的补偿能力从 1.39% 減到 0.112%.

在它特性綫的直綫部分，反应性的"比重"为每移动 1 毫米变化 $3.2\cdot10^{-6}$. 因为精密調节棒的安装精度可以达到 ± 0.1 毫米，所以达到的补偿精度等于 $\pm 3.2\cdot10^{-7}$，与此相应的反应堆周期为 80 小时. 精密調节的补偿能力表在图 10 上.

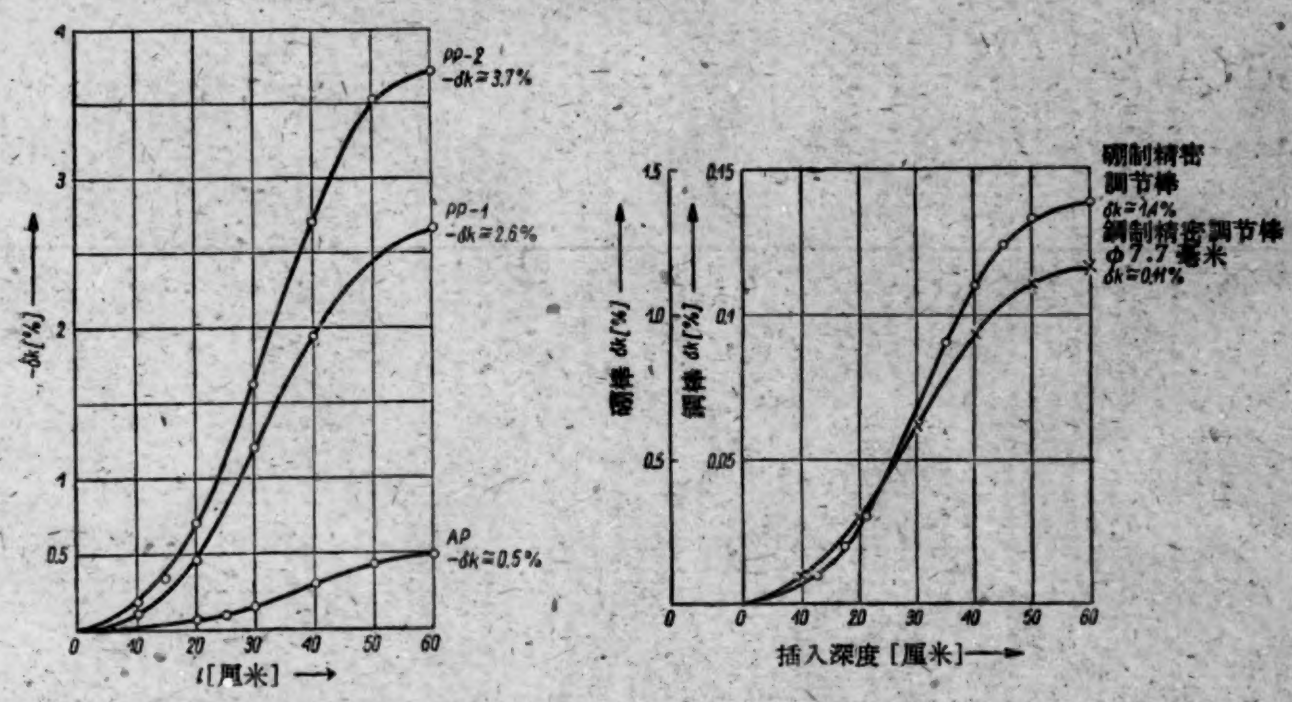


图 9　BBP-C 型反应堆内控制棒作为其插入深度函数的負反应性

图 10　BBP-C 型反应堆精密調节棒的負反应性

4.1.2. 吸收器和热柱对反应性影响的测定

因为大量装卸操作要在运行着的反应堆中进行，因此应該在对反应堆临界的关系上测定这种工作的安全与否. 重要的条件是：这种操作引起的反应性变化要能够被自动控制棒在它特性綫的直綫部分范围内的移动所补偿.

测量是用鎘柱体形式的吸收器进行的，鎘柱体直径为 37 毫米或 57 毫米、高 80 毫米、壁厚 0.5 毫米.

把 φ 37 的鎘柱体放入生产放射性同位素的孔道中，使反应性降低 0.022%—0.036%.

把 φ 57 的柱体放入各个置换器中，所引起的反应性降低为 0.056%—0.082%.

把热柱从反应堆中抽出 50 厘米，就使反应性降低大約 0.007%.

根据这些可以作出結論：装卸操作，甚至带很強的热中子吸收剂的操作，也可以在运行着的反应堆中进行.

4.1.3. ^{135}Xe 中 毒

对于反应堆在額定功率 2000 瓩下(以及在功率 1850 瓩下)长期运行后反应性随时間的变化作了研究．这个关系曲綫（所謂“碘坑”）在图 11 上給出．

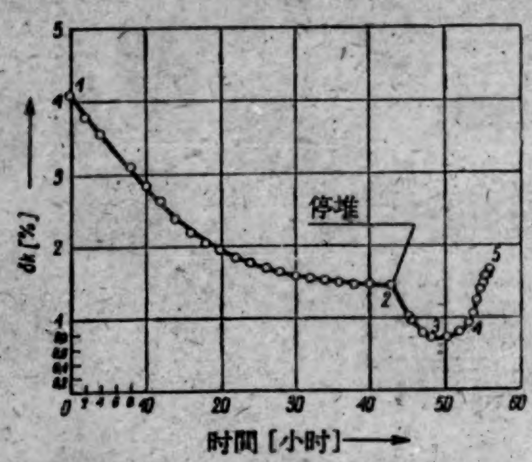


图 11 ^{135}Xe 中毒对BBP–C 型反应堆剩余反应性的影响

1——反应堆在 1850 瓩下运行开始； 2——反应堆在 1850 瓩下运行結束； 3——“碘坑”的极小值(中毒的极大值)； 4——反应堆在 2000 瓩下运行开始(毒物燃燒)； 5——测量結束．

反应堆在功率 2000 瓩下运行 60 小时后，以单位反应性表示的碘坑“深度”为 0.8%．中毒引起的反应性随反应堆工作时間的降低等于 3.1%． 与此同时反应性大約減少 3.9%． 在反应堆重新起动和达到功率 2000 瓩后，毒物以 0.3%/小时的初速被“烧掉”（見图 11)．

4.1.4. 燃耗和結渣的速度

燃料烧掉和結渣引起的反应性降低表在图 12 上．在燃耗等于 2300 兆瓦-小时以后，后备反应性从 4.8% 降到 3.3%．此后再装进一个释热元件盒，这使后备反应性增加到 3.8%．

4.1.5. 反应性温度系数

对反应性总的温度系数随反应堆活性区水温的变化作了研究．测量是当反应堆处于低功率下在小于 37°C 的温度范围內进行的．

BBP–C 型反应堆的反应性温度系数在小于 15°C 的温度范围內是正的；当温度継續升高时它变为負值（見图 13)，并从 0 降到在 25°C 到 37°C 的范围內不变的数值 $-5\cdot10^{-5}1/°C$．

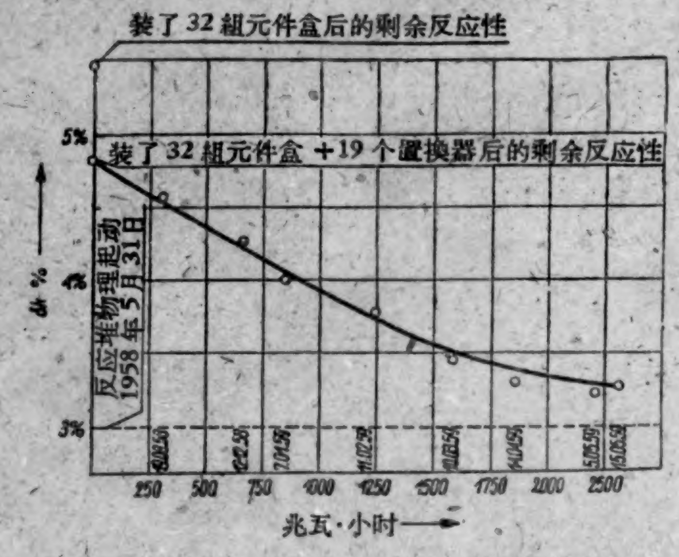


图 12 波兰 BBP–C 型反应堆的剩余反应性与它工作的兆瓦-小时之間的关系曲綫

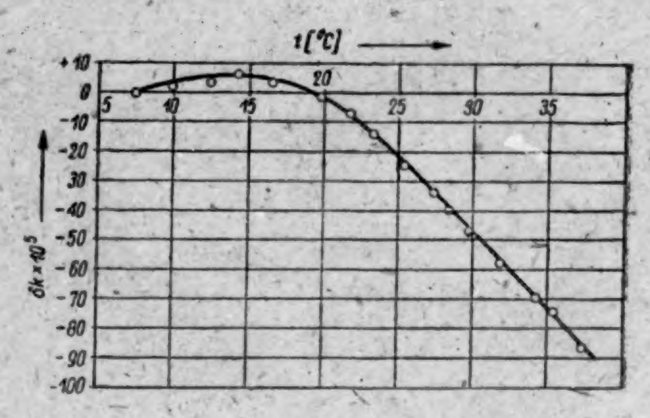


图 13 作为活性区温度函数的 BBP–C型反应堆剩余反应性的变化（测量是在反应堆恒定功率 270 瓦下进行的）

4.2. 反应堆內温度分布的测量

4.2.1. 装置的鑄鉄和混凝土防护层中的温度分布

还是在反应堆安装的时候，就在鑄鉄和混凝土防护层的不同地点插上了 47 个电阻温度

計．例如在鑄鉄防护层中，就在三个不同深度处放了 9 个温度計．根据所作的测量可以确定：当反应堆在額定功率 2000 瓩下工作时，鑄鉄防护层的温度不超过 30℃．由此得出結論：冷却这个防护层想必是沒有必要的，甚至在加大反应堆功率的情况下也是如此．

4.2.2. 热柱孔道中的温度

测量热柱孔道內的温度时得到有趣的結果(测量是用特別制造的銅-康銅热电偶进行的)．它表明：甚至用閉合迴路冷却热柱和反应堆功率为 2000 瓩时，最靠近活性区的孔道的温度也不超过 65℃．这些数据尙待証实．

4.3. 反应堆活性区內热中子和快中子通量分布的测量，以及中子和 γ 輻射能譜組成的研究

热中子通量的絕对测量用放射性探测器按恆定角度法和 β-γ 符合法两种方法进行．快中子的分布根据鍺样品在反应堆內輻照作用下电导率的变化测定（見图 14）．

热柱水平孔道出口处的热区內的中子譜用簡单的机械选择器测量；而在 4 号水平孔道出口处用中子晶体譜仪测量(見图 15 和图 16)．

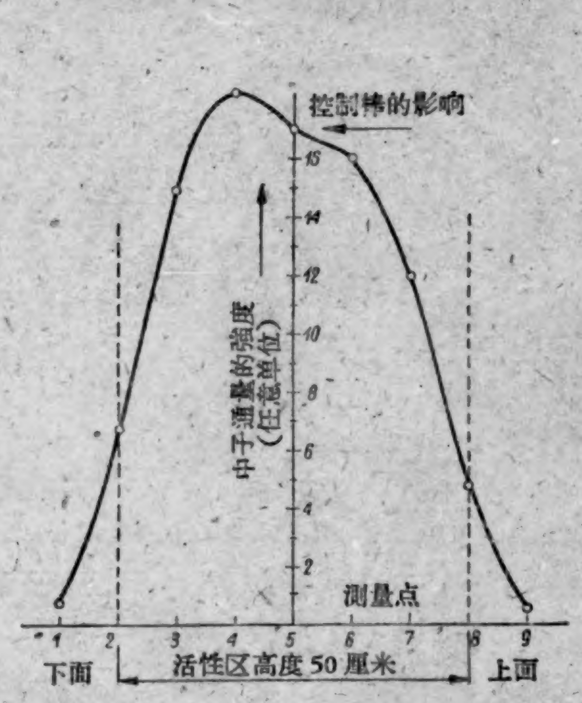


图 14 快中子($E >$ ～300 电子伏)通量沿 BBP-C 型反应堆活性区高度的分布（数据根据鍺样品在快中子作用下电阻率的变化取得）．

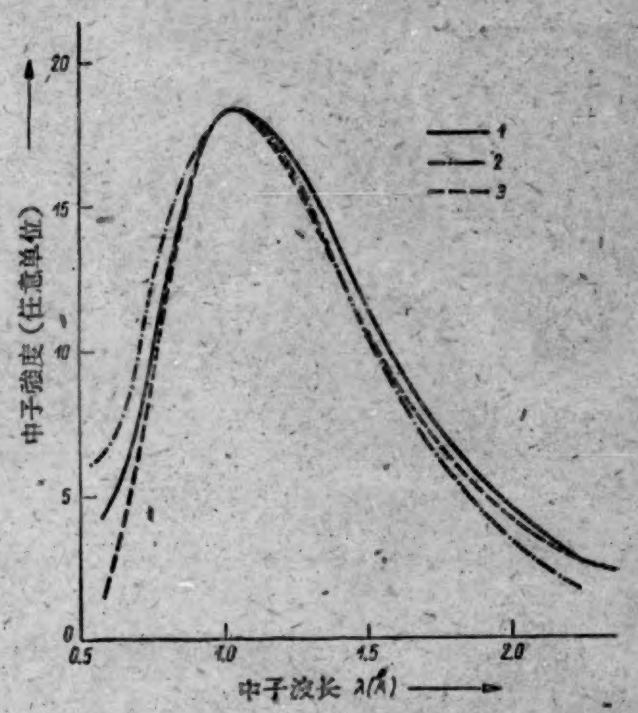


图 15 4 号水平实驗孔道出口的中子譜（数据利用中子晶体譜仪取得）．
1——沒有慢化器时的热中子譜； 2——有了慢化器后的热中子譜； 3——$T = 350°K$ 时的馬克斯威尔分布．镉比等于 13.2．

此外还利用閃爍譜仪研究了水平孔道出口的 γ 輻射譜．

这些测量是由四个单位完成的，它們是：原子核物理研究室 IA 和 IБ、反应堆物理实驗室和反应堆运行研究室．

5. 对反应堆的总評論及其最近的运行意图

当反应堆物理起动实現时，装置有三个部分：热室、废水箱和埋葬物的場地沒有准备好．現在这些部件可以認为是准备好了，但是应該指出：还存在一系列附加的困难．

5.1. 废 水 箱

直属于我們反应堆的有两个废水箱，每个 300 米³. 这两个地下水箱中有一个在建造过程中遭到两次事故：一次是安装时在地下水压力下发生的，第二次是它的盖子被倒在它上面的泥土压坏. 到現在为止这个水箱还沒有动用. 第二个水箱做得与第一个相类似，虽然它暂时还沒有遭到事故，但根据第一个水箱不愉快的經驗，不能认为它是十分可靠的. 由此得出結論：埋藏液态放射性废物的問題我們还沒有解决. 但是暂时还沒有必要把放射性水排掉，而反应堆主迴路中的离子交换器很有效，它降低了释热元件复盖层破裂情况下的危险.

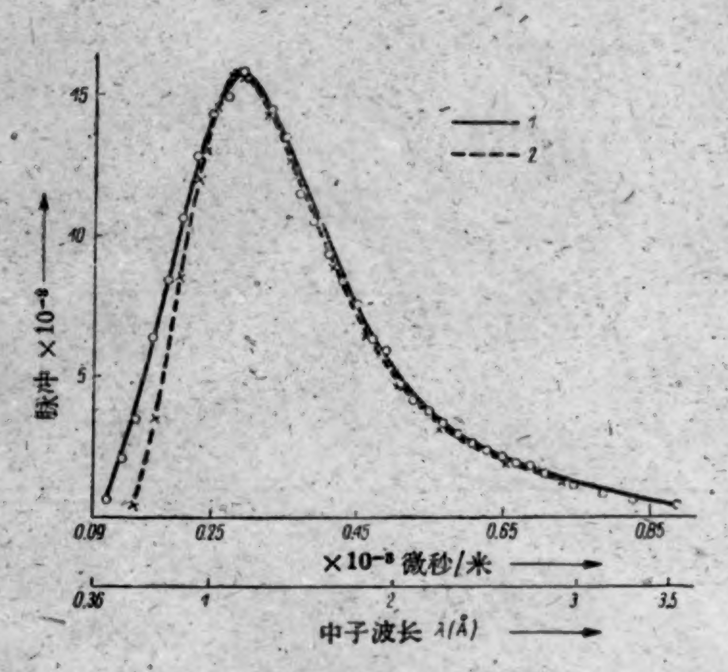


图 16 热柱孔道出口的中子譜
（数据利用机械选择器取得）
1——实驗曲綫； 2——$T = 295°K$ 时的馬克斯威尔分布.
鏑比等于 60.

我們决定再建造一些地下水箱，数量多一些，但容积显著变小，即每个 30 米³.

5.2. 热 室

我們在热室方面的困难主要是設备的动作不太正常. 这是指的卸料伸縮容器和机械手. 此外，由于检查得不够，混凝土防护层強度不够，我們稍微作了一些修补. 但是对于某些工作，特别是放射性不太高的工作来說，可以认为热室已准备好，我們打算开始以比直到現在为止的更大規模来制造放射性同位素.

5.3. 最近时期反应堆的运行

我們的反应堆是根据月計划工作的. 为了自己的試驗而使用反应堆的所有人員必须在更早得多的时候提出自己的要求. 这种运行的組織方式可以使运行人員提前准备各种操作方式，准备必要的設备等等. 工作人員的数量是每班 10 个人（平均）.

从剂量測定的观点来看，我們覚得：反应堆运行得很正常和良好.

到現在为止还沒有一次超剂量的情况. 例如，工作人員得到的剂量都沒有超过容許值的 0.1.

对大气沉降物、地下水和反应堆附近的植物的放射性的检查，以及最近的河流中水的检查，都已进行了两年.

反应堆工作一年来的情况表明：水和植物的放射性与反应堆还沒有工作的时候比較，沒有发生什么变化.

反应堆每周只有八班工作的主要原因是缺少工作人員. 現在补充的新工作人員正在訓練和实习. 从 1959 年 9 月 1 日起，反应堆开始整天运行（星期日和星期一除外）. 这使我們可以在大得多的程度上满足我們实驗者的要求[1].

譯自 Nukleonika, Nr 1—2, TOMV, 1960.

1) 从 1959 年 9 月 15 日起反应堆每周工作四整天（作者注：从 1959 年 12 月 15 日起）.

簡　報

(TBP)重水反应堆的γ射綫譜

布尔哥夫(Н. А. Бургов)　達尼艮(Г. В. Данилян)
科罗尔柯夫(И. Я. Корольков)　施傑尔巴(Ф. Штерба)

利用爱勒型磁γ譜仪[1]測量了从TBP[2]反应堆的径向孔道中飞出的γ射綫譜．图1图解所示是实驗的几何布置．在反应堆活性区1中具有一个硬化中子譜的专門"凹区"．由于凹区的存在，在堆的能譜中有鈾棒1a所产生的几乎沒有減弱的γ輻射．当仪器的分辨率为1.25%（对于$E_\gamma \geqslant 2$兆电子伏）时，把偶然符合本底除去后，所測得的反应堆的能譜列于图2．考虑到仪器的效率和γ量子在中子滤片中的吸收情况后所得到的同样的能譜（且表于相同的間隔ΔH_ρ）列于图3．在纵坐标上表示γ譜綫的相对強度．对于譜綫上未被分辨开的部分，$\nu(E_i)$决定了每单位能量間隔内給定能量的γ量子的相对数目．

經过修改的譜綫結果以及对每条譜綫所作的注释都列于表内．第一行内給出在图2上所表示的譜綫編号，第二行給出γ綫的能量值（在括号内的数字表示最后一位数的誤差）．第三行給出γ綫的相对強度．有括号的γ射綫能量和強度的数值測定得不够可靠．确定已分辨出来的譜綫相对強度的誤差約为10%．

对于反应堆的結构元件，要考虑到宏观截面和每一俘获所給出的γ量子絕对产額之后，方可按照文献[3]所給数据而对个别譜綫加以注释．最后一行是发射出該譜綫的元素名称以及在文献[3]中所采用的譜綫編号．在当若干种元素能对γ譜綫有所貢献时，則这些元素的貢献以递減的次序表明．在測量誤差范围内，45条γ射綫中的40条可以認为是属于反应堆結构元件的．在第33条γ射綫的強度中，来自鉄元素的貢献不能超过20%．文献[4]的作者观察到，在鋁譜中有带相近能量的相对強的γ射綫，这在文献[5]中未得以証实．按照文献[6]所給的数据，在U^{238}中子俘获γ射綫譜中，有着能量为4.062±0.010兆电子伏、而絕对強度为7%的γ綫；而且这条譜綫尚未完全被分辨开来，作者仅指出了能量較小的γ綫的存在．

因此，能量为4.050和3.987兆电子伏的γ射綫可以認为是属于U^{239}的．对絕对強度的估計并不与这种假設相矛盾．

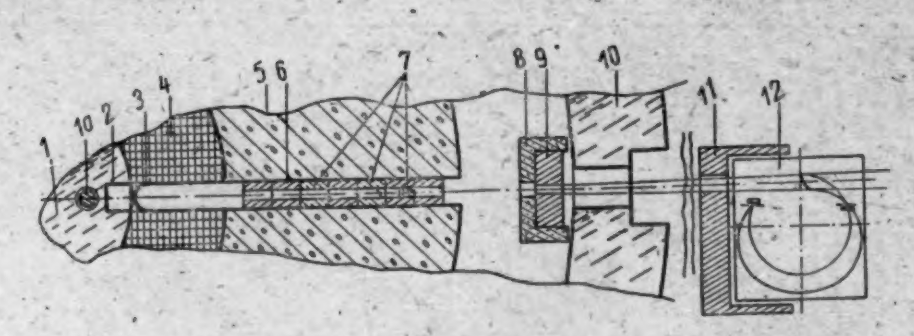


图1　实驗的几何布置

1——活性区；1a——鈾棒；2——"凹区"和反应堆的外壳(鋁)；3——不銹鋼管；4——石墨反射层；5——水泥防护层；6——鉛准直器；7——中子准直器和B_4C过滤片；8——中子防护层；9——鉛准直器；10——水防护层；11——鉛防护层；12——γ譜仪．

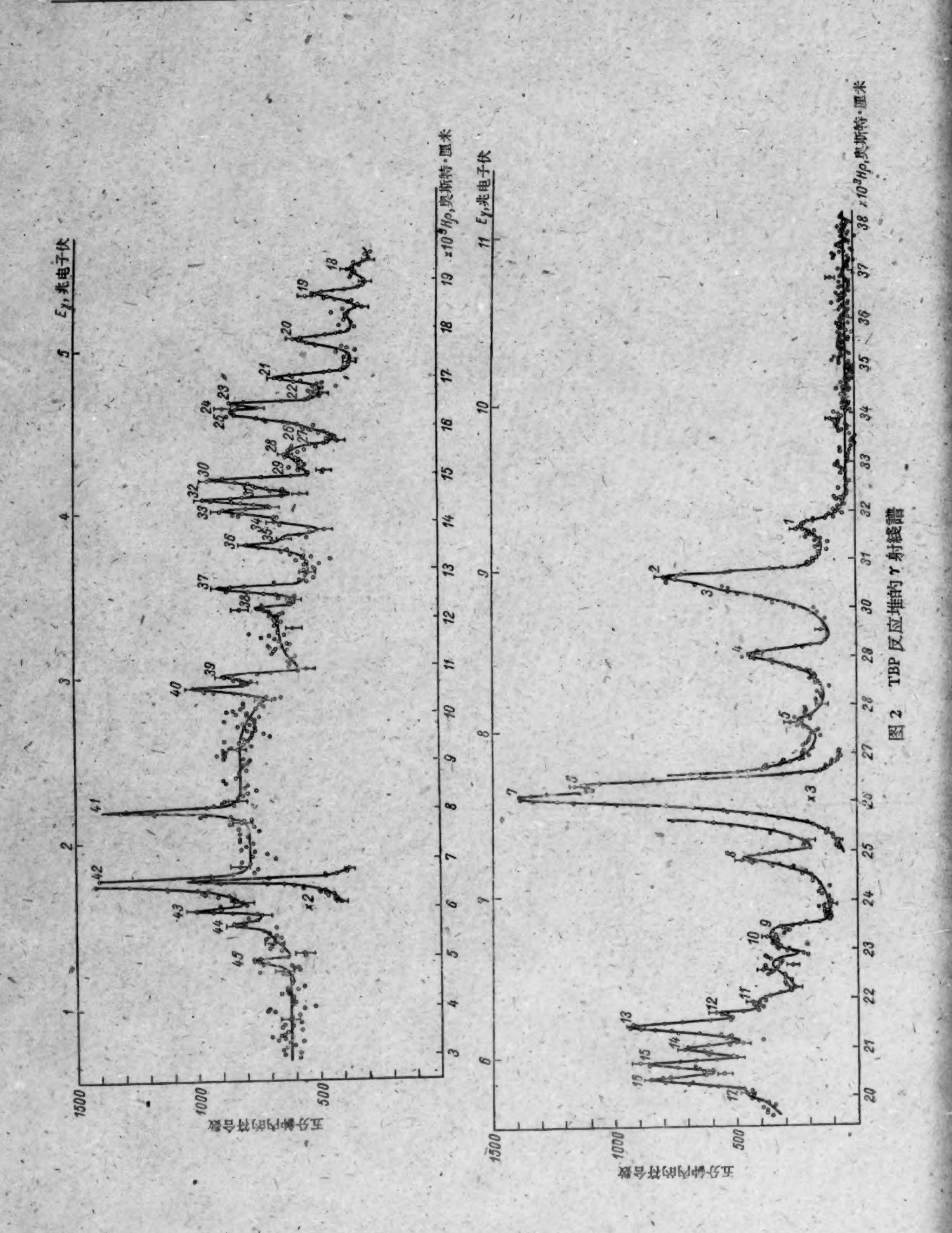


图 2 TBP 反应堆的 γ 射线谱

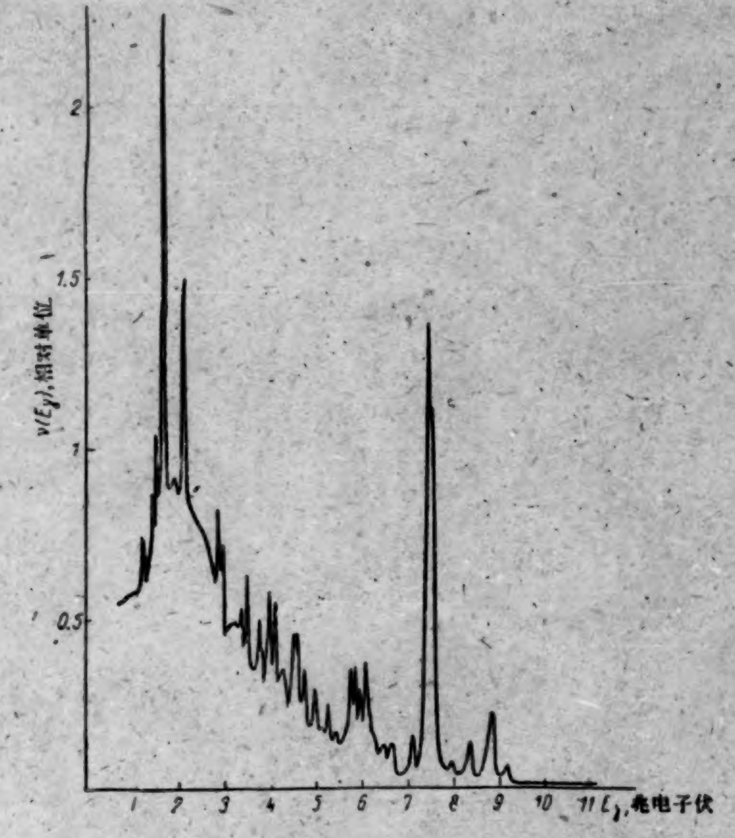


图 3　修正后的 TBP 重水反应堆的 γ 射綫譜

測量到的 TBP 重水反应堆的 γ 射綫譜

反应堆譜			注释	反应堆譜			注释
編号	Eγ 兆电子伏	I 相对		編号	Eγ 兆电子伏	I 相对	
1	9.334(5)	1.0	Fe, 1	24	4.670(15)	(4)	Al, 10
2	9.012(3)	4.7	Ni, 1	25	4.640(15)	(3)	—
3	8.919(15)	(1.2)	Cr, 2; Fe, 2	26	(4.57)	(1)	—
4	8.533(3)	2.5	Cr, 3; Ni, 2	27	(4.46)	(3)	Al, 11
5	8.119(30)	(1)	Cr, 4; Ni, 3	28	(4.40)	(3)	Fe, 12
6	7.733(2)	28.0	Al, 1	29	4.325(15)	(2)	—
7	7.649(3)	22.6	Fe, 4	30	4.250(10)	(8)	Al, 12
8	7.275(5)	2.9	Fe, 5	31	4.202(15)	(3)	Fe, 13; Ni, 16
9	6.832(3)	1.9	Ni, 8	32	4.123(15)	(8)	Al, 13
10	6.760(30)	(1)	Al, 2	33	4.050(15)	(7)	U^{238} [4]; Fe, 14; Al(?)
11	6.404(30)	(1.7)	Fe, 6; Cr, 8	34	3.987(15)	(3)	U^{238} [4]
12	6.314(20)	(2)	Al, 3	35	3.887(14)	(5)	Al, 14
13	6.236(10)	5.4	D(n,γ) T	36	3.839(14)	(5)	Fe, 15; Al,15 (?)
14	6.095(15)	3.6	Al, 4; Cr, 9; Ni, 11	37	3.573(7)	6.5	Al, 16; Fe, 17
15	5.997(15)	4.9	Fe, 7; Cr, 10; Ni, 12	38	3.447(17)	(4)	Al, 17; Fe, 18
16	5.904(15)	4.7	Fe, 8; Al, 5	39	3.029(6)	7.3	Al, 19; Cr, 17; Ni, 20
17	5.796(30)	(0.9)	Ni, 13	40	2.953(10)	8.3	Al, 20
18	5.557(20)	(0.9)	Cr, 11; Fe, 9	41	2.205(3)	17	H(n,γ)D
19	5.404(6)	2.8	Al, 6; Cr, 12	42	1.778(2)	43	$Al^{28}\xrightarrow{\beta}Si^{28}$
20	5.123(6)	3.4	Al, 7	43	1.594(10)	(10)	Fe, 27 (?)
21	4.868(6)	4.1	Al, 8; Cr, 14	44	1.503(20)	(4)	Fe, 28 (?)
22	4.788(30)	(1)	Fe, 11; Cr, 15	45	1.297(13)	(7)	Fe, 29 (?)
23	4.716(10)	6	Al, 9				

根据 (d,p) 反应的輻射所测定的最后一个中子在 U^{239} 内的結合能为 4.63 ± 0.15 兆电子伏，这与第 25 条 γ 射綫的能量数値（4.640 ± 0.015 兆电子伏）很相符．若假定輻射体是 U^{239}，则估計絕对強度的数値約是每次俘获 1%．文献[6]中看不到这种譜綫，但这与文献[6]所給数据并不矛盾．

如在图 3 中所看到的，反应堆的 γ 射綫譜中有相当大的一部分未被分辨出来，显然它們是由 U^{235} 和 U^{238} 中子俘获 γ 射綫和裂变 γ 射綫所引起的．

在单位能量間隔內（1 兆电子伏）未被分辨开的譜綫的积分強度如下所述：

E_γ 兆电子伏	$S_\nu(E_\nu)dE_\nu$ 相对单位
1—2	530
2—3	512
3—4	252
4—5	149
5—6	82
6—7	35
7—8	16
8—9	10
9—10	8
10—11	7

把得到的結果与文献[8]比較后可以知道，总的看来，未分辨开的 γ 射綫譜当通过 ИРТ 反应堆的石墨反射层时，由于多次康普頓散射而变軟了．

最后，作者借此机会向重水反应堆的工作人員表示感謝．

一 彭 譯

参 考 文 献

[1] Б. Джелепов, Н. Жуковский, Ю. Хольнов: Изв. АН СССР, *серия физ.*, **XVIII**, 5 (1954).
[2] А. И. Алиханов и др.: Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1955), т. 2. М., Физматгиз, 1958, стр, 391; В. В, Гончаров, С, А. Гаврилов, Г. Н. Караваев: Тр, Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958). Докл. советских ученых. Т. 2—Ядерные реакторы и ядерная энергетика. М., Атомиздат, 1959, стр. 243.
[3] Л. В. Грошев и др.: Атлас спектров γ-лучей радиационного захвата тепловых нейтронов. М., Атомиздат, 1958.
[4] B. Kinsey, G. Bartholomew, W. Walker: *Phys. Rev.*, **83**, 519 (1951).
[5] Л. В. Грошев и др.: *Атомная энергия*, **III**, № 9, 187 (1957).
[6] P. Campion, J. Knowles, G. Bartholomew: *Canad. J. Phys.*, **37**, 377 (1959).
[7] J. Harvey: *Phys. Rev.*, **81**, 353 (1951).
[8] Л. В. Грошев, А. М., Демидов: *Атомная энергия*, **7**, вып. 3, 257 (1959).

关于求出平面源的中子在无限介質內的空間能量分布問題

普梨埊 (А. Р. Птицын)

文献 [1] 已研究出一种按已知的中子密度 $\psi(x,u)$ 和中子通量 $\varphi(x,u)$ 函数的空間矩 $\psi_n(u)=\int_{-\infty}^{\infty}x^n\psi(x,u)dx$ 和 $\varphi_n(u)=\int_{-\infty}^{\infty}x^n\varphi(x,u)dx$，来求出 $\psi(x,u)$ 和 $\varphi(x,u)$ 的方法．曾指

出：此題假如对于平面源有对称性的話，那末

$$\left.\begin{aligned}\psi(x,u)&=\beta e^{-\beta|x|}\sum_{n}a_n(u)U_n(\beta|x|);\\\varphi(x,u)&=\gamma(\gamma x)e^{-\gamma|x|}\sum_{n}b_n(u)V_n(\gamma|x|),\end{aligned}\right\}\tag{1}$$

式中

$$\left.\begin{aligned}a_n&=\sum_{\nu=0}^{n}\xi_{n\nu}\psi_{2\nu}\beta^{2\nu},\quad \xi_{n\nu}=\frac{1}{2}\frac{(-1)^{\nu}}{(2\nu)!}C_{\nu}^{n};\\b_n&=\sum_{\nu=0}^{n}\eta_{n\nu}\varphi_{2\nu+1}\gamma^{2\nu+1},\quad \eta_{n\nu}=\frac{1}{2}\frac{(-1)^{\nu}}{(2\nu+1)!}C_{\nu+1}^{n+1};\end{aligned}\right\}\tag{2}$$

$U_n(x)$ 和 $V_n(x)$ 是按下列公式定义的多項式

$$\left.\begin{aligned}U_n(x)&=\frac{(-1)^n}{2^n n!}\left[\frac{\partial}{\partial x}-1\right]^{2n}\times\sum_{j=0}^{n}\frac{(n+j)!}{j!(n-j)!2j}x^{n-j};\\V_n(x)&=\frac{1}{2(n+1)}\left[\frac{\partial}{\partial x}-1\right]^{2}U_n(x)\end{aligned}\right\}\tag{3}$$

并有共轭多項式

$$U_n^{+}(x)=\sum_{\nu=0}^{n}\xi_{n\nu}x^{2\nu};\quad V_n^{+}(x)=\sum_{\nu=0}^{n}\eta_{n\nu}x^{2\nu+1}\tag{4}$$

这样就有

$$\left.\begin{aligned}\int_{-\infty}^{\infty}e^{-|x|}U_n(x)U_{n'}^{+}(x)dx&=\delta_{nn'};\\\int_{-\infty}^{\infty}xe^{-|x|}V_n(x)V_{n'}^{+}(x)dx&=\delta_{nn'}.\end{aligned}\right\}\tag{5}$$

由于实际上能够求出有限个数的矩，所以当公式 (1) 中的級数包括有限的項数时，就只能限于求近似值. 在这种情形下，如果所用的 β, γ 和 u 无关的話，对所有能量变数 u 就无法保証給定的精确度(在給定的距离 x_0 下). 本文提出了一种可能求出 $\beta(u)$ 和 $\gamma(u)$ 的方法.

因为 $\psi(x,u)$ 是 x 的偶函数，而 $\varphi(x,u)$ 是 x 的奇函数，所以，$\psi(x)$ 将具有除零外的偶数矩，而 $\varphi(x)$ 具有除零外的奇数矩.

假設，我們已知 $\psi(x,u)$ 函数的 $N+1$ 个偶数矩，那末借助于級数(1)的第 $N+1$ 項就可写出 $\psi(x,u)$ 的 $N+1$ 級近似

$$\psi^{(N+1)}(x,u)=\beta e^{-\beta|x|}\sum_{n=0}^{N}a_n(u)U_n(\beta|x|).\tag{6}$$

根据空間矩的定义，对于任意的 β 值，$\psi^{(N+1)}(x,u)$ 的 $N+1$ 个偶数矩与未知函数 $\psi(x,u)$ 的相应矩是一致的.

現在我們要求 N 級近似函数

$$\psi^{(N)}(x,u)=\beta e^{-\beta|x|}\sum_{n=0}^{N-1}a_n(u)U_n(\beta|x|)\tag{7}$$

能給出正确的 $N+1$ 級(偶数矩)矩的值，即要求

$$\psi_{2N}^{(N)}(\beta)=\psi_{2n}(u),\tag{8}$$

由該方程就可得到求 $\beta(u)$ 的方程. 現在我們把它写成明显的形式. 方程(7)乘以

$$(\beta x)^{2N}=\sum_{p=0}^{n}q_{Np}U_p^{+}(\beta x),$$

考虑到公式(5)并对全部空間积分，以及根据表达式(8)把 $\psi_{2N}^{(N)}$ 和准确值 $\psi_{2N}(u)$ 等起来，我們就得到

$$\beta^{2N}\psi_{2N}=\int_{-\infty}^{\infty}e^{-\beta|x|}\left(\sum_{n=0}^{N-1}a_nU_n(\beta|x|)\right)\times\left(\sum_{p=0}^{N}q_{Np}U_p^{+}(\beta x)\right)=\sum_{n=0}^{N-1}a_nq_{Nn}.$$

把方程(2)的 a_n 值代入，我們就求出 $\beta^2(u)$ 的 N 阶方程

$$\psi_{2N}(u)(\beta^2)^N\sum_{\nu=0}^{N-1}A_\nu(u)(\beta^2)^\nu, \tag{9}$$

式中

$$A_\nu(u)=\psi_{2N}(u)\sum_{n=\nu}^{n-1}q_{n\nu}\xi_{n\nu}.$$

由这方程N个根中，选择了我們需要的有效的正根 β_0^2，将根 $\beta_0(u)$ 代入解(6)：

$$\psi^{(N+1)}(x,u)=\beta_0(u)e^{-\beta_0(u)|x|}\times\sum_{n=0}^{N}a_n(u)U_n[\beta_0(u)|x|]. \tag{10}$$

对于决定中子通量 $\varphi(x,u)$ 的 $\gamma^2(u)$，和公式(9)相同，可得到下列N阶方程

$$\varphi_{2N+1}(u)(\gamma^2)^N=\sum_{\nu=0}^{N-1}B_\nu(u)(\gamma^2)^\nu, \tag{11}$$

式中

$$B_\nu(u)=\varphi_{2\nu+1}(u)\sum_{n=\nu}^{N-1}\rho_{Nn}\eta_{N\nu},$$

而 ρ_{Nn}——是 x^{2N+1} 按多項式 $V_n^{+}(x)$ 的展开系数：

$$x^{2N+1}=\sum_{n=0}^{N}\rho_{Nn}V_n^{+}(x).$$

其中，当知道中子密度 $\psi(x,u)$ 的四个空間矩 $(N+1=4)$ 的时候，方程(9)就变成

$$\psi_6(u)(\beta^2)^3-45\psi_4(u)(\beta^2)^2+540\psi_2(u)\beta^2-720\psi_0(u)=0. \tag{12}$$

作为这个方法运用的例子，我們根据四个矩求得了氫中中子的密度分布，假設自由程长度是常数 $(\lambda=1)$，这样，我們就可将所得出的解同对能量变数值 $u=10$ 的維克的精确解[2]作比較．

$$\psi(x,u)=\beta_0(u)e^{-\beta_0(u)|x|}\sum_{n=0}^{3}a_n(u)U_n[\beta_0(u)|x|] \tag{13}$$

我們从文献[3]取出 $u=0$ 和 $u=10$ 的矩的值

$$\left.\begin{aligned}&\psi_0(0)=1,\ \psi_2(0)=2!,\ \psi_4(0)=4!,\ \psi_6(0)=6!,\\&\psi_0(10)=1,\ \frac{1}{2!}\psi_2(10)=10.667,\\&\frac{1}{4!}\psi_4(10)=65.578,\ \frac{1}{6!}\psi_6(10)=278.44.\end{aligned}\right\} \tag{14}$$

如果 $u=0$，那末 $\beta_0(0)=1$，$a_0(0)=\frac{1}{2}$，$a_1=a_2=a_3=0$，$\psi(x,0)=\frac{1}{2}e^{-|x|}$．显而易見，此即动力学方程的精确解．如果 $u=10$，那末对于 $\beta_0(10)$ 和 $a_n(10)$ 由公式(2)和(12)得到：$\beta_0(10)=0.351$，$a_0=0.5$，$a_1=-0.158$，$a_2=-0.318$，$a_3=-0.241$．将这些値代入公式(13)，就可求得 $\psi(x,10)$．所得到的結果和維克解的比較，列于下表

中子空間分布函数値

x	$-\lg\varphi(x)$	
	公式(13)的	文献[2]的
0	1.10	1.05
1	1.08	1.06
2	1.10	1.09
4	1.21	1.24
5	1.31	1.34
10	2.11	2.10
15	3.03	3.07
20	4.32	4.25

由上可見，用四个矩近似計算 $\psi(x,u)$，可以算到 20 个自由程.

参　考　文　献

[1] L. Spencer, U. Fano: *J. Res. Nat. Bur. Standards*, **46**, 446 (1951).
[2] G. Wick: *Phys. Rev.*, **75**, 738 (1949).
[3] А. Р. Птицын: Сб. «Нейтронная физика». М., Атомиздат, 1960 (в печати).

簡单的多道脉冲振幅分析器

米哈依洛夫 (В. Ф. Михайлов)

在研究放射性样品的輻射譜方面的許多工作中，应用脉冲分析器的可能性是十分大的，但由于在实驗条件下制造分析器很麻煩而未能充分地加以利用．但是，为了解决許多仅限于研究弱放射性样品的問題时，分析器的綫路能够大大地簡化，而且可以做得相当稳定．

下面所描述的装置(在綫路中装有自动記录的电位計)給出了良好的結果．

图 1 所示是脉冲整形的綫路方块图，这种脉冲的振幅正比于进入輸入端的脉冲所具有的振幅，而进入輸入端的脉冲的寬度是給定的，它等于記录装置的两个反复之間的时間間隔．为了使分析器工作，利用 ЭПП-09 型电位計是方便的．它装有記录用的蘸墨水笔尖和标有毫伏的标尺．

来自放大器輸出端的短脉冲被二极管甄别器 $Л_1$ 所截断，而进入到第一个阴极跟随器 $Л_2$ 的控制柵极．这一跟随器輸出端輸出的脉冲振幅和原来的成正比，但是具有較长的后沿，后沿与时間常数 R_1C_1 有关．第二个阴极跟随器 $Л_3$ 通过二极管 6X2П ($Л_4$) 向“存貯”电容器 C_2 充电到振幅的数值．通过装在电子管 6Ж1П 上的阴极跟随器而把綫路的輸出端連接起来，在电子管 6Ж1П 工作时沿着它的控制柵实际上是沒有电流的．由于这个原因，在电容器 C_2 上的电荷不发生改变，至少在电位計記录机构一次反复所必須的时間内(12 秒以内)是不改变的．

来自 $Л_5$ 阴极的脉冲使电子管 $Л_6$ 触发，而迫使閉鎖輸入端的极化継电器开始工作，此継电器使綫路的輸入端接地．当記录装置动作时，与該装置的电磁鉄平行相連的継电器 P-2 就向存貯电容器充电，幷把継电器 P-1 的电枢擲到最初位置．

电位器 R_2 使二极管 $Л_4$ 上产生某些負偏压，此負偏压是防止存貯电容器 Г 由于电子管加

热的交流电的嘴声而造成的充电所必需的.

电位器 R_3 用来把电位計上的墨水笔头置于零点. 記录器的紙帶按照具体問題的需要而任意的放置在孔道中. 墨水笔头向右面的偏移正比于輸入脉冲的振幅.

本装置在輸入达100伏范围內具有綫性的振幅特性. 标准脉冲的涨落不超过2毫米. 分析器的綫路在长期測量过程中十分稳定; 在几昼夜的时間內零点綫实际上保持在原来的位置.

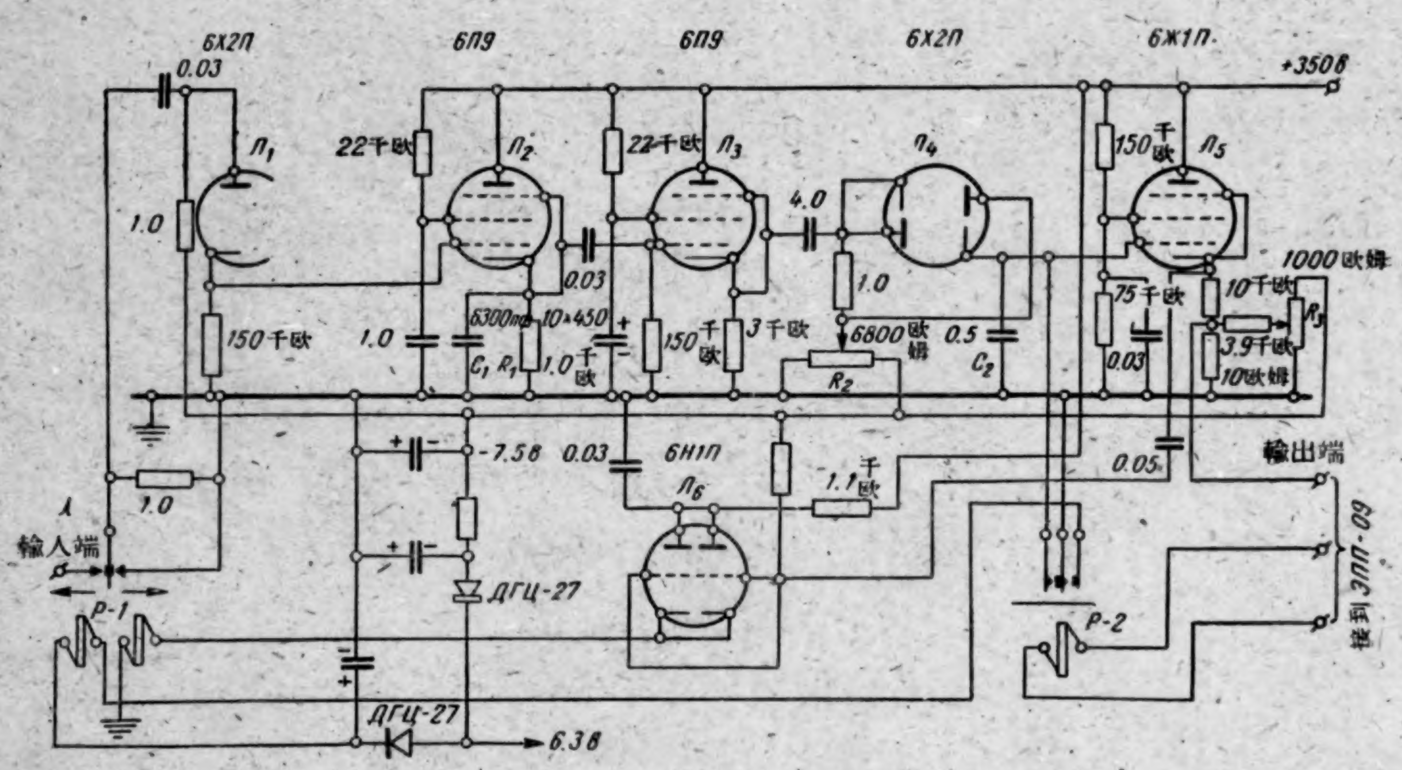


图 1 脉冲整形方块原理图

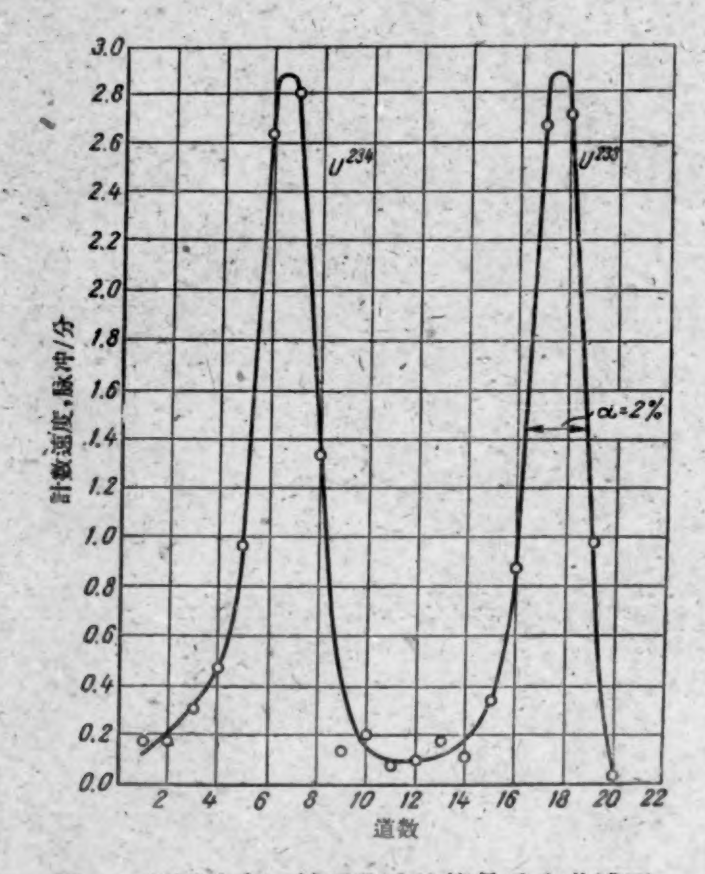


图 2 鈾同位素 α 粒子脉冲的能量分布曲綫图

某些解释上的困难(用目力計算孔道上的点子)由于存貯装置工作的稳定性和得到結果的明显性等优点而得到弥补. 在图 2 上列出脉冲按孔道(振幅)的分布曲綫图, 这是按照脉冲电离室得到的鈾同位素 (U^{234} 和 U^{238}) 的 α 粒子脉冲記录結果而构成的.

作者对哥列斯尼果夫 (E. M. Колесников) 帮助制造綫路表示衷心的感謝.

Al_2O_3-Sm_2O_3 和 Al_2O_3-Gd_2O_3 系的研究

特列斯瓦茨基 (С. Г. Тресвятский) 庫莎科夫斯基 (В. И. Кушаковский)
别列万采夫 (В. С. Белеванцев)

Al_2O_3—Sm_2O_3 和 Al_2O_3—Gd_2O_3 系已初步研究过. 如在文献[1,2]中表明,在这些系中組成 $SmAlO_3$ 及 $GdAlO_3$ 化合物, 它們具有鈣鈦矿石式的組織. 在文献[3]中列出了上述系統大概的熔融相图,測定了它們所形成的化合物的熔点, 并給出了在 1700—1820°C 范围內固相綫及液相綫温度的实驗数据. 可是在 1820—2300°C 范围內固相綫及液相綫的温度曲綫在文献[3]中是假設的,并在图上用虛綫表示, 而在 Gd_2O_3 及 $GdAlO_3$ 間的共晶熔点及其成份甚至未作出預先估計.

作者們根据文献[4,5]中的方法,通过高温热分析确定了在 1700—2350°C 范围內 Al_2O_3—Sm_2O_3 及 Al_2O_3—Gd_2O_3 系統中的固相綫及液相綫的温度. 采用了有刻度的鎢-鉬热电偶. 加热与冷却曲綫用电子电位計記录下来. 这样可以形成該系的准确度及可靠性比文献[3]中較高的状态图.

使用的原材料是含 99.5% (按重量計)以上的主要組份 (主要的杂質是其他稀土元素的氧化物)的 Sm_2O_3 及 Gd_2O_3,还有 ЧДА 牌号的 Al_2O_3.

化学分析表明, 在合金中热分析后 Al_2O_3 的含量比在相应的炉料中的含量少一些. 这个差別是随炉料中 Al_2O_3 含量的增加而增长. 可是在富 Al_2O_3 区并未超过 2—3 克分子%. 因此,在确定液相綫及固相綫的温度时,未引入 Al_2O_3 的蒸发修正(由于它們很少).

通过热分析后得知: 在 Al_2O_3—Sm_2O_3 系(图 1)中, Al_2O_3 方面共晶体的熔点为 1770 ± 20°C, 在 Al_2O_3-Gd_2O_3 系(图 2)中为 1760 ± 20°C. 在 Al_2O_3—Sm_2O_3 系中, 稀土氧化物方面

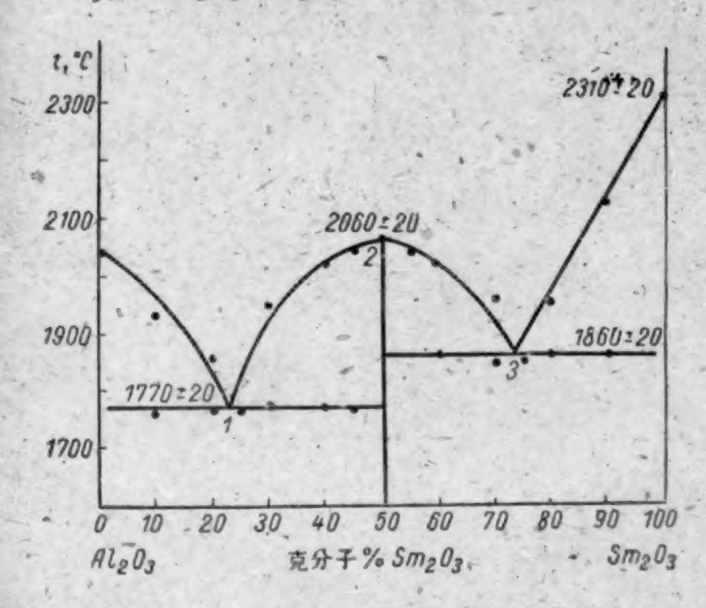


图 1　Al_2O_3-Sm_2O_3 系的固相綫及液相綫

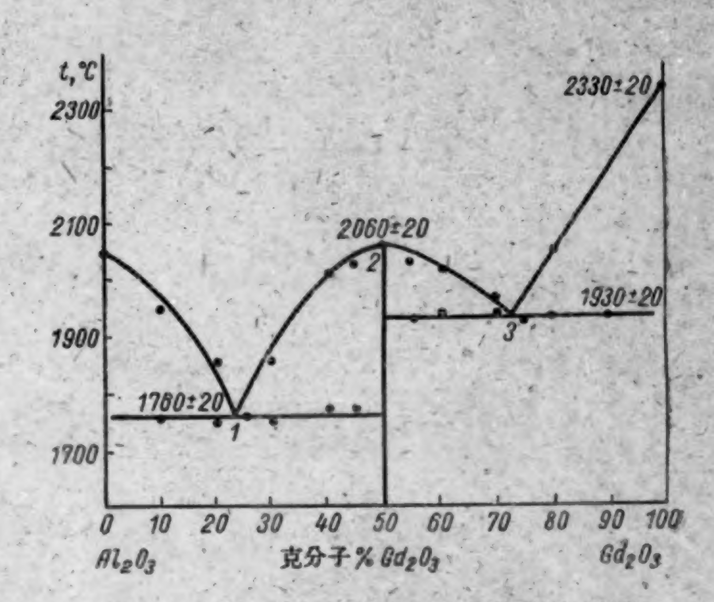


图 2　Al_2O_3-Gd_2O_3 系的固相綫及液相綫

共晶体的溶点为 1860 ± 20℃，在 Al_2O_3—Gd_2O_3 系中为 1930 ± 20℃. 化合物 $SmAlO_3$ 及 $GdAlO_3$. 在不分解的条件下熔化时，实际上它們的熔点相同，等于 2060 ± 20℃.

在 Al_2O_3—Sm_2O_3 及 Al_2O_3—Gd_2O_3 系中温度为 1700℃ 及高于該温度时的不变点.

在图1及图2上的点	相	反应	文献[3]的数据			本文的数据		
			温度，℃	成份，克分子%		温度，℃	成份，克分子%	
				Al_2O_3	R_2O_3		Al_2O_3	R_2O_3
Al_2O_3—Sm_2O_3 系								
1	Al_2O_3 + $SmAlO_3$	共晶	1720±20	80	20	1770±20	77	23
2	$SmAlO_3$	异成分熔化	1920±20	50	50	2060±20	50	50
3	Sm_2O_3 + $SmAlO_3$	共晶	1860±40	73	27	1860±20	73	27
Al_2O_3—Gd_2O_3 系								
1	Al_2O_3 + $GdAlO_3$	共晶	1740±20	80	20	1760±20	77	23
2	$GdAlO_3$	异成分熔化	1980±40	50	50	2060±20	50	50
3	Gd_2O_3 + $GdAlO_3$	共晶	无数据	无数据	无数据	1930±20	73	27

热分析后，对于在反光下合金的显微組織的研究表明：在含 0—20 克分子%稀土氧化物的合金中，首先結晶出 Al_2O_3；在含 25—70 克分子%的合金中分别結晶出 Sm_2O_3 或者 $GdAlO_3$，而在含 75—100 克分子%的合金中結晶出 Sm_2O_3 或者 Gd_2O_3.

根据合金显微組織的研究，可以認为：它們的共晶体是存在于含稀土氧化物为 20 及 25 克分子%的成分之間(低熔点共晶)及在 70 及 75 克分子%(高熔点共晶)之間.

对 1700—1950℃ 淬火試样的显微組織研究后表明，在試样含稀土氧化物大于 1 克分子%时，同在試样中含稀土氧化物少于 99 克分子%时一样，存在有两个相. 这說明在 Al_2O_3—Sm_2O_3 及 Al_2O_3—Gd_2O_3 系統中固态氧化物沒有显著的溶解度.

在表中举出了与文献[3]相比較的在 Al_2O_3—Sm_2O_3 及 Al_2O_3—Gd_2O_3 系統中的不变点. 由表可見，在 Al_2O_3—Sm_2O_3 系統中，我們得出的数据在 1、2 及 3 点上与文献[3]按成份来說是相符的，但是对 1 及 2 点而言，在溶点上有差別. 在这些点上我們所求出的温度相应地高于 50 及 140℃. 在 Al_2O_3—Gd_2O_3 系統中发現在 2 点上溶点有区別. 我們所求出的数值大致比文献[3]中的高 80℃. 对 3 点而言，在文献[3]中旣未举出成份的数据，也未举出温度的数据. 无論对 Al_2O_3—Gd_2O_3 系統 1 点的成份或温度而言，我們的数据与文献[3]中举出的数据都是相符的.

参考文献

[1] M. Keith, R. Roy: *Amer. Mineralogist*, **39**, No. 1, 1 (1954).
[2] C. Curtis, J. Johnson: *J. Amer. Ceram. Soc.*, **40**, No. 1, 15 (1957).
[3] F. Aldred, A. White: *Trans. Brit. Ceram. Soc.*, **58**, No. 4, 199 (1959).
[4] П. П. Будников, С. Г. Тресвятский: *Огнеупоры*, № 4, 167 (1955).
[5] С. Г. Тресвятский, В. И. Кушаковский, В. С. Белеванцев: *Огнеупоры*, № 4, 180 (1960).

科 技 新 聞

在苏联国民經济中应用放射性同位素和核輻射的全苏会議

1960年4月12日至16日，在里加（拉脫維亚苏維埃社会主义共和国首都）召开了苏联国民經济中应用放射性同位素和核輻射的全苏会議．此次会議是由以下单位召开的：苏联部长会議国家科学技术委員会，苏联部长会議国家原子能利用委員会，苏联科学院，苏联部长会議国家自动化和机器制造委員会和拉脫維亚苏維埃社会主义共和国部长会議．

拉脫維亚苏維埃社会主义共和国部长会議主席佩維（Я. В. Пейве）宣布开会．

出席会議的有700多个代表，其中有苏联部长会議和各加盟共和国部长会議的代表，还有各国家計划委員会，各国家委員会，各国民經济委員会，各地工厂和企业以及各科学研究所的代表．

在会議上共听取了167个报告和报导．会議共分为以下几个組：矿物的开采和加工，冶金，采矿工业和选矿工业，建筑和建筑材料工业，輕工业，机器制造工业，輻射化学，化学工业和石油工业，农业，食品工业，医学等組和使用放射源的仪表組．

举行了两次全体会議．在会議上曾听取了以下几个报告：关于在国民經济中应用放射法的現况和发展远景的报告［苏联部长会議国家原子能利用委員会，薩維茨基（П. С. Савицкий）］；关于在拉脫維亚国民經济委員会的各种企业中应用放射性同位素經驗的报告［拉脫維亚国民經济委員会，加依列（Г. И. Гайле）］；关于在工业上应用放射性同位素的經济問題的报告［苏联科学院經济研究所，米海耶夫（Г. Ф. Михеев）］；关于在个别工业部門生产流程自动化方面应用放射源仪表的远景問題的报告（苏联部长会議国家自动化和机器制造委員会，索柯洛夫（В. С. Соколов）］；关于在苏联和国外的工业上应用輻射化学的远景問題的报告［卡尔保夫物理化学科学研究所，卡尔保夫（В. Л. Карпов）］；关于使用电离輻射时加强劳动保护的情况和措施的报告［苏联保健部，莫依賽依朵夫（П. И. Моисейцев）］；关于应用放射性同位素时所用的新型工业检測装置的报告（苏联部长会議国家原子能利用委員会，馬米柯年，日尔諾夫）；以及关于供应同位素和防护技术制度的报导［全苏"同位素"检查局，柯洛美托夫（И. И. Коломытов）］．

里加会議是第一次最大的会議，通过这次会議在国民經济中应用放射性同位素和核輻射方面交流了經驗．决定了会議参加者的成員，参加会議的主要是各工厂和各国民經济区的代表．在会議上还听取了各科学研究所和工厂实驗室的工作人員所作的关于过去和将来在工业上应用放射性同位素的工作报告．

在会議进行过程中，与会者了解了关于在里加各企业中使用放射性法的情况．

会議决議中，規定了在工业上进一步扩大应用放射性同位素和核輻射的具体措施．特别注意了：改进科研工作和国民經济上应用放射性同位素及核輻射方面工作的配合，加强检查产品質量和生产过程自动化的高生产工具的科学研究工作，扩大科技干部的培养以滿足工业上应用同位素和射綫以及使用其相应設备方面的研究工作和工程設計工作的需要．

在以下个别报导中，报导了各組討論的一些問題．

会議文献于1960年出版．

放射性同位素和核輻射在探矿和采矿中的应用

这次会議在实际应用新的有成效的找矿和探矿方法的經驗交流方面，进行了大量有益的工作，同时还听取了各科学研究所代表所介紹的关于新的研究成果的广泛情报．

会上所听取的报告証明，由于原子核物理、原子能工业和測量技术的发展，出現了新的利用放射性

同位素和核輻射的地球物理找矿、探矿和采矿方法，并經常在实际中加以应用．1959 年，仅在石油矿和煤矿上应用放射性测井方法所得的經济效果即达六亿卢布左右．

在勘探石油和气体矿床时，利用 γ 测井和中子 γ 测井方法来进行鉆孔剖面的岩石分层和对比．这些方法和其它放射性方法一样，比起电测井方法来，它們的优越性是有可能研究下有鋼管的鉆孔．

中子 γ 测井、中子中子测井和感应放射性方法，在良好的条件下，可以在石油矿的开采过程中，观测水油接触带的位置．此外，还表明有可能用感应放射性方法检查层間水的动态．

在韃靼国民經济委員会和全苏地球物理研究所伏尔加-烏拉尔分所代表的报告中提到，中子方法正在逐漸成为全国最大的罗馬什金石油矿开采工作的主要检查方法．1959 年用中子方法研究了 229 个鉆孔．

当鉆孔灌注水泥时，用 γ 测井和 γ-γ 测井法来检查柱外水泥的分布情况．

在勘探和开采石油和气体矿床时，放射性同位素被用来测定套管的断裂处、下有套管的鉆井的水源点、管外循环带、鉆井过程中的液体吸收带，以及用来检查断水层．上面提到的大部分工作，用其它地球物理方法实际上是无法解决的；而其余一些工作，則用放射性方法来解决更为可靠、精确，并且省錢．

在煤矿上，如果綜合利用 γ-γ 测井和电测井，可以精确地测定煤层的深度、厚度和构造．

在煤矿上，如在綜合测井法之外再加上 γ-γ 测井法，就可以保証在各种地質条件下，可靠地查明各种变質程度的煤层．由于上述原因，测井的效率大大提高，这就使利用这种方法所得的数据来計算煤的儲量合法化，并提供了大大提高勘探工作經济效应和工作質量的可能性．

在确定鉆井剖面的含硼带时，γ-γ 测井法能提供完全可靠的結果，这就使岩心取样的时間大为縮短．这种方法能从水中鑑定出异常，并可初步估計硬硼石膏的含量，其范围为 0.1—10.0%．

光中子测井法成功地用来勘探鈹矿．这种方法可以在鉆孔的剖面上分出矿带，估計鈹的定量含量达 0.01%．

应該指出，用光中子测井法来計算鈹儲量是一篇令人极感兴趣的报告．

已經制成了一批测定样品中硼和鈹含量的装置，并且正在应用，这就有可能对测井的数据进行检查，并且减少化学分析的工作量．

γ-γ 选择测井法已經經过試驗，正被用来划分比較重的元素（Fe, Pb, W, Hg 等）的矿带，其精确度为 0.2%．利用这种方法，可以找到各种标准品位鉛的清晰的异常．已經証明对于隕鉄矿来說，γ-γ 选择测井法所得的数据与取样結果极为相似．

在鋁土矿、錳矿和銅矿产地的生产检查以及采用中子测井法和放射性测井法方面，已經取得了良好的成績．

示踪原子法在石油矿上得到了应用．特别是，氚被用来检查水在层間的运动，以及测定各个层間的流体动力学关系．

在卡拉布拉克-阿契庫拉克（Карабулак-Ачикулак）石油矿上，因为利用了氚，才有可能确定两个相互隔絕的很厚的石油矿层之間的流体动力学关系，这对于确定整个矿床的开采方法具有很大的意义．

关于测定天然氚的方法和装置問題的报告也是很有意义的．天然氚测量的高度灵敏性，就造成了不但可以广泛使用这种已經研究出的方法来解决水文地質和水文工程問題，而且可以用这种方法来研究各种地球物理介質（大气中空气的运动和大洋中海水的运动等）．

利用放射性同位素和核輻射的可能性絕不仅仅限于目前已知的几种方法．例如 1959 年在試驗脉冲中子法和多孔中子发生器时，就取得了令人滿意的結果．采用中子发生器就有可能加大能够利用探井輻射法的深度，保証在采矿过程中（包括在淡化层間水时）可靠地控制水-石油接触带和气体-液体接触带的移动，并大大扩大在探矿和采矿中使用中子方法的可能性．

系統的科学研究表明，通过对 γ 射綫进行能譜测定，可以大大提高放射性测井法在研究岩石和矿石元素成份时的效果．已經拟定了一种新的（伦琴輻射法）物質元素成份的快速分析法．

为了快速分析硼、鋰、鎘和某些其它元素，制造了一种高效率的中子测量装置（"中子"型装置）．

但是会議也指出，虽然在利用同位素和核輻射探矿方面有了成功的經驗，可是輻射方法远沒有被充分地利用起来．在石油矿和天然气产地所采用的輻射方法，只成功地解决着有限的几个問題．还沒有拟定出可靠地测定孔隙度和石油飽和度的方法．在勘探金属矿床和非金属矿床时，已被肯定是有效的輻射方法，还采用得非常不够．

在一部分使用电测井方法效果不够显著的煤矿上；迄今在綜合测井法研究中，还沒有包括 γ-γ 测井

法。在綜合地球物理研究方法內包括了輻射方法之后，对它的經济效果的分析工作进行得很差。

在普查、勘探和开采矿物的工作中，广泛采用已被肯定是有效的輻射方法，以及全部实现它們所提供的各种可能性，是一項刻不容緩的、具有重大国民經济意义的任务。

阿力克賽耶夫（Ф. А. Алексеев）

放射性同位素和核輻射在冶金工业中的应用

冶金工业中，利用放射性同位素和核輻射源的研究和实际应用，在苏联开始于 1948—1949 年。規定了下列几个方向：应用放射性的和稳定性的同位素作为指示剂（示踪原子），应用放射性强的核輻射源和应用放射性同位素来检驗工艺过程和使工艺过程自动化。

在生产条件下，放射性同位素首先用于諾沃图尔冶金工厂和庫茲涅茨鋼鉄公司。現在，許多企业都在应用放射性同位素。

在鑄鉄生产中，应用同位素的主要任务之一是探寻提高高炉生产能力的途径和研究与各个設备自动化有关的問題。利用輻射测量法进行了炉料运动和耐火材料炉衬損毁情况的检驗工作，并利用同位素法进行了焦炭和烧結矿的密度以及炉料料綫的检驗工作。在测定用金属鎂和鈣-氧化鋁渣使生鉄脫硫的最佳条件方面，应用放射性同位素得到了良好的結果。在解决与高炉风口区操作的研究有关的一些任务时也应用了同位素。

在捷尔任斯基工厂，安装了检驗高炉中炉料料綫的試驗性輻射測量装置。試驗結果表明，在其他冶金工厂里应用这种装置也是合适的。現在正研究一种类似的装置来测定由高炉带走的矿尘的数量。准备应用随动系統法，因为它可以不断地进行測量。

中央鋼鉄研究院和捷尔任斯基工厂拟定并試驗了炉料的检驗方法。現在的检驗方法不可能在装料前直接地快速測定各块炉料的大小。輻射检驗法可以直接测定炉料密度的变化。在庫茲涅茨鋼鉄公司和其他工厂也拟定进行类似的工作。

高炉的生产能力在很大程度上决定于鉄矿原料的准备情况。在这个准备工作中，重要的环节是检驗鉄矿石的选矿和烧結矿烧結的过程。在鉄矿石原料的准备工作中，应用放射性同位素的試驗也是有效的。在庫茲涅茨克鋼鉄公司試制成了輻射計，可用来测定烧結矿的密度。烧結厂对仪器所作的試驗表明，它可以在制备烧結矿时用来检驗矿石的烧結过程。

在許多工厂，用放射性插入法和輻射探測法检驗高炉和混鉄炉炉衬的損毁情况，从而有可能观察高炉和混鉄炉操作过程中炉衬的状态。現在，庫茲涅茨克鋼鉄公司、捷尔任斯基工厂、“亚速”鋼厂、馬克耶夫冶金工厂以及其他企业正应用輻射法检驗高炉耐火砌体的損毁。

按照捷尔任斯基工厂和苏联科学院經济研究所的初步資料，利用已采用同位素的高炉的研究結果，可以減少燃料的消耗量和增加該工厂的生鉄产量約 8 万吨；折合現金为每年节約 250 万卢布。按照粗略的計算，对烧結矿的烧結采用輻射检驗法，在庫茲涅茨克鋼鉄公司每年大約可节約 2 百万卢布。这些工作也能促使改进高炉各部位的結构。这首先关系到高炉炉身和炉底（庫茲涅茨克鋼鉄公司、馬格尼托戈尔斯克鋼鉄公司、伊里奇工厂、捷尔任斯基工厂）。評价高炉生产中应用同位素的經济效果是很难的，因为在采用同位素的同时还进行了改进流程的其他工作。捷尔任斯基工厂的資料就值得注意。根据这个資料，同位素的应用，連同其他工作的效果在一起可以使生鉄产量增加 2.5—3%，降低燃料消耗量 3—3.5%，和增加高炉使用寿命 5—8%。

在炼鋼生产中，在改进鋼的冶炼工艺方面广泛采用放射性同位素。

在馬格尼托戈尔斯克鋼鉄公司中，利用放射性同位素研究了造渣过程，从而确定了平炉中炉料的最佳装料顺序。在“亚速”鋼厂和在斯大林冶金工厂中也进行了类似的工作。

在“亚速”鋼厂、斯大林工厂和“查波罗什”鋼厂，利用同位素稀释法来测定废鋼的熔化速度和测定在熔炼时平炉中鋼水的重量。在庫茲涅茨克鋼鉄公司中，利用同位素測定了鋼熔池的流体力学特征，結果找到了縮短熔炼时間的可能性，即在現有的平炉中不需增加开支而能成万吨地增加鋼产量。在伊里奇工厂，利用同位素查明了縮短鋼水在鋼錠模中停留时間的可能性，这直接关系到平炉車間生产能力的提高。

在庫茲涅茨克鋼鉄公司、馬格尼托戈尔斯克鋼鉄公司、謝罗夫鋼鉄公司、斯大林工厂、契里亚賓工厂、“鐮刀与斧子”工厂、“德聶泊尔”特殊鋼厂、“电炉”鋼厂和各研究院中，应用放射性同位素研究了非

金属夹杂物的性质.

在庫兹涅茨克鋼鉄公司、馬克耶夫冶金工厂和“亚速”鋼厂研究了平炉耐火砌体損毁的輻射检驗法，从而可以将平炉的修理时間縮短30—40分鉡.

庫兹涅茨克鋼鉄公司和斯大林冶金工厂对于軋制时鋼材經过过程的研究方面所进行的工作有很大的意义. 这些資料对于确定合理的軋輥孔型設計是必需的.

在研究新的薄板鍍錫工艺时应用了鉄和錫的放射性同位素. 这个工作的結果已在新莫斯科工厂和“查波罗什”鋼厂的实际工作中得到了应用.

各科学研究所和各工厂設計了大量輻射仪器，这些仪器在冶金事业中用来检驗和調整冶炼过程.

中央鋼鉄研究院制成了一种仪器，可以用来测量連續鑄錠机結晶槽中鋼水綫. 现在,在一些工厂中已应用了鋼水綫測量仪. 在哈尔齐茨克鋼管厂中，应用鋼水綫輻射测量仪可以使化鉄炉装料过程自动化. 在加里宁城“五一”工厂中,应用了結晶槽鋼水綫調整器，此仪器还对鋼錠的拉伸速度发生了影响. 类似的調整系統也用于西納尔管厂的生鉄管半連續浇鑄装置中，莫吉列夫冶金工厂也正在安装这种調整系統. 在連續注錠机結晶槽中利用鋼水綫調整器可以使浇注作业完全自动化.

斯大林冶金工厂設計出了測定高炉收尘器矿尘量的液面計. 馬克耶夫冶金工厂在高压洗滌塔中应用了极限水面輻射信号器，这对于炉顶气体为高压的高炉的操作来說有很大意义.

在許多工厂中，测量軋件厚度的輻射测量仪得到了应用. 制成的厚度测量仪有好几种类型(0.003至10毫米). 在冷軋过程中应用厚度测量仪来检驗鋼带的厚度,就有可能提高产品的质量，减少废品，增加軋制速度以及大大节約鋼材. 应用厚度测量仪可以得到很大的經济效果. 例如,根据大概的資料,在列宁格勒軋鋼厂的一台12輥軋鋼机上,只按照下限公差进行軋制,每年就約可节約70万卢布. 按照“查波罗什”鋼厂的資料，应用厚度测量仪可以使废品減少1/2,同时軋材的公差还降低了. 应用厚度测量仪来测量厚达45毫米的热軋板,也可得到很大的經济效果. 现在在伊諾尔工厂也采用了热軋厚度测量仪.

在有色冶金工业中，放射性同位素被用来研究生产检驗方法和研究流程的机理和动力学. 在南烏拉尔制鎳公司中設置了保証检驗豎炉装料的輻射液面計和122个其他类型的輻射液面計，从而可以使破碎烧結車間的料槽装料作业自动化. 在沃尔霍夫炼鋁工厂的氧化鋁車間中，利用了放射性密度計使得浸取工段的过滤液縮槽出料过程自动化. 在德聶泊尔鈦鎂工厂,利用放射性密度計,証明了有可能在四氯化鈦洒噴循环中测量矿浆的密度. 采用这些仪器,就可以无接触地操纵繁重的流程,直接检查和保持既定的工作状态,并保証操作人員的安全.

应用放射性同位素，可以研究和改进許多高純度有色金属和稀有金属的制造工艺. 在烏克兰炼鋅厂已采用了高純度鋅的制造工艺，而在新西伯利亚炼錫厂則采用了高純度錫的制造工艺. 已經提出了以下几种方案：改进电精炼銅的工艺并最低限度損失貴金属;改进电解制鋅法,保持高的电流效率，并为此必須淨化各种鋅电解溶液；改进为許多冶金产品所必需的分离鉠和鉬的方法.利用放射性同位素,研究了电解鋁时金属和电解液的相互作用，并且查明了电解鎂时电流效率降低的原因（由于生鉄块的阳极溶解). 在測定純金属中的极少量杂质方面,应用放射性同位素和活性分析法，可以明确现有的方法并研究出新的方法（如鋅、鉛、銻、錫、砷、磷、鍺、鉈、鋼、鎘、鎳、硒、碲、鎳、鈷、鉄、銀等杂质).

应用放射性同位素进行工作的結果，得到了大量材料，这就可以較正确地評价有色冶金工业中正采用的工艺过程，实行生产过程的检查和找出改进这些过程的可能途径.

在冶金工业中应用放射性同位素和核輻射，給国民經济带来了很大的經济效果，并且为改善劳动条件創造了前提. 为了在工业中进一步采用同位素和核輻射，必須在探求工艺过程的輻射检驗和調节的新方法和原則方面扩大和深入进行研究.

詳細討論在冶金工业中采用同位素方面所得到的主要成果，将促使这个方面的工作更进一步地开展.

格魯金（П. Л. Грузин）
巴比柯娃（Ю. Ф. Бабикова）

放射性同位素在选矿和采矿工业中的应用

近几年来，苏联在这一方面所进行的工作可分为仪器設計和仪器实际运用二类. 这些工作曾在选矿和采矿工业部門进行过討論.

不能缺少水平发送器，矿浆密度和煤灰份测量

器，混合料和精矿湿度测量器的工业，对仪器的設計工作提出了基本的方向；工艺过程的自动調节便依賴于这些仪器的制造。采矿和选矿工业的特点要求制造能使用放射性同位素和核輻射的无触点发送器。

薩維茲基（И. И. Савицкий），李奇切夫斯基（Е. Г. Литичевский）和高尔金（М. Л. Гольдин）在报告中援引了对曲角的南选矿联合企业所属厂矿中工艺过程的控制和自动化問題的解决方法。对黑色冶金的破碎分选厂、选矿厂和烧結厂来說，解决方法是一致的。借助于哈尔科夫工厂的 КИП 型 γ 継电器，能可靠地控制轉載点的流通量，皮带运输机上皮带的打滑和皮带上有无矿石。在儲矿量4万吨的抛物綫式矿仓的自动化装矿方面所进行的巨大工作，保証了原料均匀地送到各个部分和卸矿車的自动控制。应当指出，想用触点发送器，容量发送器及感应发送器解决这一任务的嘗試失败了，因为矿石从12米的高度落进矿仓各个部分时，其磨度和破坏力很大。

法捷耶夫（К. Ф. Фадеев）引据了切良宾經济区各企业应用 γ 継电器，控制皮带运輸机上煤的存无，料斗加料自动化，卸矿矿車計算，顎式破碎机机口进料自动化以及其他过程自动化的实驗数据。

"南烏拉尔制鎳"联合企业协同"有色金属自动化"設計局（КБ ЦМА）的工作人員进行了巨大的工作。在謝窩相諾夫（В. В. Севостьянов），李賀节洛夫（И. М. Лихтеров）等人的报告中闡明了固定式液面計的工作原理和結构特点。因空气的侵蝕性不同，在有色冶金选矿选厂中，液面計的工作条件不如在黑色冶金中。γ 継电器型液面計 КБ ЦМА 的灵敏度很高，从而能降低輻射源的放射度。

对于在选矿厂条件下使用电子継电器的可靠性的問題，已經由貝尔（Я. М. Бер），古聶（Х. Э. Гунне），雅努斯科夫斯基（В. А. Янушковский）和卡西諾夫（А. В. Чащинов）的报告闡述过了。报告中引据了切列包維茲冶金工厂在控制料仓中冶金炉料料位时，使用塔林仪表实驗制造厂所生产的这一类型仪器的操作經驗。在这份报告中还探討了装配在磁性扩大器的 γ 継电器的接受器。此仪器广泛地应用在井下許多生产过程的自动化方面，因为它装在防爆的外壳內。在流程是无疑可靠的和使用期限长的情况下，使用接受器在某种程度上会因其动作慢（~3秒）而受到限制。

在謝加林（В. Г. Сегалин）的报告中闡明了苏联科学院采矿研究所正在进行的一些工作的总結。对通风井的受矿仓中保护层的控制，对流槽和漏料管堵塞的控制的情况，矿車的計算，料斗提升数目的計算以及通风門的自动控制等都做了研究。在研究使用能記录散射輻射的輻射接受器自动控制采煤康拜因方面，正进行着巨大而有趣味的工作。散射輻射的强度变化取决于岩石或煤的存在。

欧夫恰連柯（Е. Я. Овчаренко），葛基可（У. И. Когик）等人的报告闡明了米條尔选矿厂运用矿浆密度测量計的問題。矿浆密度测量的特点不仅仅是介質的侵蝕性，而且还有矿浆本身的放射性，固相的比重高和矿浆輸导管的直径大（150厘米）。从1957年开始的工作已顺利的完成，而且目前已有若干种仪器都进行了测量精确度和可靠性的長期工业試驗。已經查明，若是矿浆的固相含有原子序数大的元素时，唯一适用的 γ 輻射体是 Co^{60}。使用 Cs^{137} 会产生矿石的矿物組成的波动使射綫通量改变若干个百分数的后果，这是所不允許的。由于矿浆輸导管的直径很大，选用磷做为輻射探测器，而为了減少因为光放大器和电子系統的放大系数不稳定性所产生的設备誤差起見，采用了补偿测量法。放射性各为80毫克·当量的二个 γ 輻射体 Ra 实現振动运动。每块輻射体置放在带有圓孔的鉛盒內。于是磷便交替地受到通过矿浆的基本射綫流和通过补偿楔的标准射綫流的照射。仪器的試驗表明，在动作速度为1秒时，仪器的精确度等于1.5%。

有关测量矿浆密度的第二份报告是由瓦里节尔（А. К. Вальтер），甫拉克辛（И. Н. Плаксин）和高尔金（М. Л. Гольдин）提出的。报告描述了密度計的結构和近三年来在南采选联合企业进行的若干次試驗。就結构而言，仪器是装在密閉的外壳內。輻射探测器是带有复鉛的多层表面电极的电离室。电离室不是按差动式接通的，而是按电桥系統，因此它們具有符号相同的（+）电压。这一情况大大地簡化了电子系統和減少了設备誤差。两个电离室的电离电流的测定是借助于振动变流器用测电系統进行的，振动变流器采用的是工业頻率，并且把集电极同2Э2П电子管的操縱綫路交替地联結起来。輻射通量用楔鉄补偿，而传眞用磁动力发送器来实現。在这一綫路中，电离电流的测定使用一整套带有交流扩大器的电子装置。工业試驗表明，在 Cs^{137} 源的放射性等于50毫克·当量 Ra，和鉄矿矿浆最大密度值2.1克/厘米^{3}时，测量精确度为0.6%。因此，哈尔科夫仪表制造厂成批生产的仪器属于1.5%精确度級。指示仪器的指針通过整个分度盘的时間为45秒。

报告中还援引了专門就选择矿浆取样地点（在双螺旋分級机上做进一步检查）所进行的实驗数据.

庫里申科（А. З. Кулишенко）闡明了在使用向操作机构和調整机构送指揮信号的放射性发送器方面所进行的工作. 使选煤厂浮选工段在主要指标——負載和耗量方面設計并运用浮选过程自动化調节系統. 在頓巴斯雅西諾夫选煤厂对自动化調节系統所做的工业試驗表明，在这种条件下可以提高浮选机的負載，簡化浮选的工艺流程，从而降低泥煤的处理費和減少操作人員数量. 庫里申科还講述了测定煤灰分的仪表.

在报道中，应該指出朱彼林（И. Г. Зубилин）在测定煤料的假比重方面所进行的工作. 这里援引了試驗方法，湿度和顆粒細度对测量精确度的影响.

所有报告都具有一个特点：报告中十分重視安全技术，放射性控制方法的經济效果和生产过程的自动化問題.

报告分析表明，目前已經制出了 γ 継电器型仪表和矿浆密度测量器并且已在采矿和选矿工业中获得了应用.

为了大力推广基于利用同位素和輻射的仪表和自动系統，必須采取一系列的組織措施，其中主要的要算是在国民經济委員会下成立中心实驗室和在专科学校中培养相应的工程师干部.

高里金（М. Л. Гольдин）

放射性同位素和核輻射在建筑中的应用

近年来在建筑和建筑材料工业上越来越广泛地应用放射性同位素作研究、检查和調节生产过程之用.

РИУ 测量仪器和 УРАП 継电器型仪器已在料倉进料时作自动检查与自动操纵之用，РИУ-1 水平放射性指示器在石棉选洗厂作检查料倉装矿物之用.

双相悬浮液（泥浆，水泥浆，泥渣等等）密度的自动控制与調节可由 ПЖР-2 放射性密度計，“放出仪”和 γ 泥量計来进行. 特别是泥水泵装置汲出的泥浆用放射性 γ 泥量計来检查其密度更好，它能测定泥浆中的含泥量，精确度达2%. γ 泥量計也可用于泥水泵装置操纵自动化以及其工作效率的检查. 在卡霍夫斯克水电站、高尔克夫水电站、伏尔加河的列宁水电站和斯大林格勒水电站等工地上使用的泥水泵都装有 γ 泥量計.

在水工构筑物地基浇灌混凝土时借助 ПЖР-2 放射性密度計对水泥沙浆的稠度可进行不断的检查. 在石棉选洗厂也利用这个仪器进行测量石棉浆的稠度. 使用放射性密度計（在选洗厂）还可检查旋风离尘器的工作情况和检查瀝青的氧化过程.

БИВ放射性无接触重量测量仪供絕緣建筑材料生产时使用.

γ 探伤法在检查电站的管道，气体和石油干管，貯水槽和其他金属結构的焊縫質量时使用. 利用 γ 探伤法检查水电站工地上鋼筋混凝土結构鋼筋焊縫的質量可以发現直径 30 毫米和更大的鋼筋焊接处的暗伤. 采用了这种方法仅在斯大林格勒水电站工地上就节約了20万卢布. γ 探伤法也能供检查鋼筋混凝土預制构件和輸电綫路上鋼筋混凝土离心支柱的質量之用.

有一些方法的原理是测量 γ 和中子輻射同物質相互作用时被吸收或被散射的强度，这些方法在建筑上可用来测定建筑材料的各种特性以及检查工艺过程的参数.

构筑物地基、土坝、土堤等本身土壤的密度用 γ 透視法测定.

有一种情况下土壤密度可由两种方法测定，即通过透視从两个平行的鉆井（一个鉆井中放 γ 輻射源 Co^{60} 或 Cs^{137}，另一个放輻射探测器）中取出的土壤来进行测定，或者通过将放射綫测量叉插进土壤，而一个分叉上有 γ 輻射源，另一个分叉上有輻射探测器来进行测定. 测量土壤容重的精确度为±2%，每次测量用时 2—3 分鈡. 借助放射綫测量叉进行密度测量可以在土壤面层深約 0.5 米处进行. 鉆检查井时如果采用专門的鉆模就可利用透視法测定深 1.5 米的土壤密度.

另一种情况下测定土壤密度通过测量散射的 γ 射綫（γ-γ 测井）的强度进行. γ 輻射源和探测器此时一起都放在試探具內，一个放在另一个的上面并用鉛屏把它們隔开，以防止探测器受到源的直接照射. 测量土壤密度的精确度达到5%，假如采用微分（能譜）輻射指示器則精确度还可能提高. 用 γ-γ 测井法测量土壤密度不仅可以在面层而且可在极深的鉆井內进行.

在实驗室测量土壤密度可通过透視結构未破坏的土壤样品来进行. 在野外，面层土壤的湿度用透視具有一定搗实程度的土壤层的方法来进行测定.

为了测定不同深度上的土壤湿度可利用中子 γ 测井法和中子-中子测井法。中子测井法能测出鉆井所通过的土壤里的含氫量从而也測得它們的体积湿度。

混凝土,卵石,砂和其他建筑材料的湿度測量,也可以采用这样一些方法,其原理是利用在 γ 射綫通过它們的样品时記录下来的射綫吸收强度。使用这种方法的誤差,例如在測量容重为 900—1100 公斤/立方米的多孔混凝土的湿度时,不超过样品重量湿度的 2%。

γ 透視測量法在施工中也广泛地用于测定混凝土和鋼筋混凝土构件的容重、湿度和均匀性以及检查混凝土制作和浇灌的工艺过程。借助放射性密度計測量新灌混凝土搗实的程度就能检查正在搗实混凝土的震搗器的工作状况,同时并能測出所浇灌的混凝土的密度。对混凝土密度的检查在浇灌特种混凝土时具有特別重要的意义;譬如建造核反应堆防护层时的重混凝土和建造压力水工构筑时的刚性混凝土等。放射性密度計可以在混凝土制作过程中确定它的水灰比并能检查工厂預制的混凝土的均匀性。在运輸和浇灌混凝土的过程中使用密度計可以測定混凝土是否有剝层情况并可解决其他的工艺任务。

放射性測井法可以用于在建筑上对地基进行工程地质研究,用于鉆探工程(找水)和检查构筑物地基的加固工程的质量。

放射性指示剂的方法也用来测定压制木材的容重。測量时木材样品要浸透掺入放射性指示剂(P^{32})的变压器油。測量了样品的輻射强度,就可測定它們的空隙度,随后进行相应的計算,求得压制木材的容重。将測量压制木材容重的这种方法的結果同它实体測量的結果加以对比的話可发現所得的完全相同。

放射性同位素亦被广泛地应用在建筑材料和工艺过程的研究上。在測定松散材料(水泥,砂等等)的比面积的研究工作上,可使用浆体內放射性指示剂的吸附作用的方法。利用同位素 W^{185}, Sr^{89}, Ca^{45}, Cs^{137} 和 Co^{60} 作放射性指示剂。得出的吸附作用等温綫表明,通过这个方法水泥和砂的比面积能很快很准确的測出。借助放射性指示剂的方法可以对水泥水合作用的过程进行研究。对水泥熟料中矿物的水合作用过程进行动力学以及机械方面的研究,可通过浆体中掺放放射性同位素 Ca^{45} 的方法来做。根据浆体中活性变化程度来研究熟料中矿物同水的相互作用,在矿物的晶格中已充有同位素。对于水泥块于水飽和状态下在解冻与冻結交替作用时的結构和强度变化情况的研究,可通过对掺有放射性同位素 Sr^{89} 的浆体的吸附作用之測定来进行。通过对浆体活性的測量就可測定被吸附的 Sr^{89} 的数量,从而可以判断气孔体积的变化和試驗样品强度增長的情况。

使用 Ca^{45} 作放射性指示剂可对瀝青材料的各种性质进行各种研究。利用这种方法研究了水通过瀝青薄片进入石质材料的流动过程与瀝青混凝土組分的性质的关系;研究了水渗入瀝青混凝土层的特性以及表面活性掺料对瀝青混凝土性质的影响;检查瀝青外皮在鋪設拼合板时的防水性和耐水性。

采用放射性指示剂能进行研究耐火材料与熔炼灰、渣、金属等相互作用时产生的扩散过程。进行这些研究是为了了解耐火材料的工作条件和改善其生产。采用 Fe^{59} 和 Ca^{45} 作放射性指示剂,它們被掺到耐火材料的成分中去。这个方法可用来研究鋼材中含有的非金属夾杂物。

利用放射性同位素 S^{35} 对混凝土的硫酸盐腐蝕进行研究,就可以了解硫酸盐离子由于不同因素而渗入水泥的过程。通过这些研究測定了样品在腐蝕性溶液中的抗蝕性、水灰比、防水掺料的含量和水泥的細碎度等条件对硫酸盐离子的渗入及其在材料內分布的影响。这种方法同样还可以利用来研究其他腐蝕性溶液对水泥的影响。

鋼管管壁的厚度因銹蝕耗損和空化过程而发生变化时可以根据反射的 γ 射綫强度变化情况来进行研究。进行这种研究需使用放射性管壁厚度測量仪。

在建筑上放射性指示剂的方法越来越普遍地应用在研究各种材料、浆体和液体的流动过程上。在水泥熟料焙烧和磨細过程中研究材料在旋轉炉和球形研磨机的粗磨箱和細磨箱內的移动速度可以通过在原始材料中掺入放射性同位素 Fe^{59} 的方法进行。在斯大林格勒水电站工地上为了研究水泥在水泥管中气动运輸时的流动情况,曾采用同位素 Cr^{51} 作放射性指示剂。混凝土料在鋼管內的移动速度可借助同位素 Co^{60} 进行研究。为此,同位素做成小段的絲状(放射性 0.6—0.15 毫居里)放到碎石上面鉆好的孔內并塞住。根据这一块放到混凝土內的碎石在管道內移动的速度就能測出混凝土移动的速度。应用这种方法,不过是使用放射性同位素 Br^{82},曾在某水电站測定了水在偏流管道中的流动速度。为此同位素需放入进入管道的水內,根据放射性通过測量段的时間測定了水在管道內流动的速度。

泥水泵汲出的泥浆的流动过程可以通过在泥浆中放入放射性指示剂的方法进行研究．在典型試驗中曾采用放射性同位素 Ta^{182} 研究了泥浆稠度和比耗对冲洗土壤积分密度的影响．应用放射性同位素进行这些研究就可能在极短的期限內完成非常繁重的研究工作．

为研究地下水的过滤过程和运动的动力学，最近广泛采用放射性指示剂的方法．进行研究时使用了同位素 H^3，P^{32}，Co^{60}，Rb^{86}，Zr^{95}，J^{131}，Cs^{134} 作指示剂． 进行的实驗証明，采用放射性指示剂的方法来作过滤研究不差于测热法，在某些情况下还更有效．放射性指示剂的方法可以在实驗室条件下研究液体在多孔介质中受到挤压时的流动过程．在研究时所使用的各种液体用不同能量的同位素(J^{131}和Rb^{86})来示踪，这样就能够通过使用双道放射綫仪器来了解两种液体的混合过程．在野外用放射性指示剂的方法来研究水渗过围堰的情况，排水管綫的工况，深水排水泵的流量，地下水流流动的方向和速度等等．

γ 透視测量法也用于研究水流中悬浮冲积土的流动情况以及测定它們的数量．水流中冲积土的稠度可通过测量散射 γ 射綫的强度进行研究．水样中的悬浮冲积土的数量在实驗室分析时是用透視法测定的．

雅科夫列夫(А. И. Яковлев)

放射性同位素在輕工业中的应用

目前在輕工业的各个部門里利用放射性同位素和核輻射作为自动化和检查生产过程以及产品质量的方法． 这些問題在輕工业分組会議上曾做了闡述．

大家都知道，在許多輕工业生产中劳动和設备生产率的提高以及材料、原料消耗量的节約是与快速連續的测出物质(紙、厚板紙、塑料、涂在布疋上的物品等等)在制备过程中的重量有关．

中央棉織工业科学研究所在 1955 年制造了一种 БИВ 型仪器(无接触的重量测量仪)． 仪器的工作原理是利用两个接入补償綫路中的电离室对通过材料的 β 輻射吸收进行测量．仪器的工作和补償传送器是由放射源和电离室組成的．在放射源和补償传送器的电离室之間放入一个可移动的、与仪器給定的刻度相联系的金属屏．此二个电离室中的电流其方向相反，它們的微分电流通到电测放大器的輸入端． 放大器的輸出电流通到指示仪上，此指示仪即刻度出物质重量与給定的数值的偏差为克/厘米^2． 做成悬臂結构的仪器测量部分按装在一个特殊的小車上，以便在沿着运动着的材料进行测量时好反复移动它．

现在 БИВ 型仪器成功地在輕工业的許多企业中使用着． 孔采夫斯科的諾金胶布人造革工厂中，在涂胶軋輥机上应用 БИВ 型仪器测量涂在布料上的胶的标准．

在按装了 БИВ 型仪器后，就沒有必要停机取样、切材料样品、检查員称样品以及換算 1 平方米产品的分析結果．

根据工厂計划科的計算，在人造革生产上使用 БИВ 型仪器每年可以节約約 10 万卢布．

列宁格勒“焦油紙板”厂在生产紙板以便制造軟屋頂面(焦油毡、瀝青油毡、透明油紙等)的机器上試驗性的使用了 БИВ 型仪器，同样也表明了該仪器具有很高的效率和应用的适宜性．

产品质量的主要指标之一是厚紙板面的重量和厚薄的均匀程度，因为这和厚紙板的密度和其对瀝青浸透的能力有关，从而也就決定了材料使用的長久性．

“焦油紙板”厂利用 БИВ 仪器检查連續运动着的厚紙板的厚度和重量． 所有机器装备了这些仪器，工厂就可以不要检查員減少实驗室工作人員以及提高質量和劳动生产率，这样使工厂每年可以节約 25 万卢布．

在造紙生产上使用 БИВ 型仪器使得有可能建立管理生产过程的工具，并且当生产的正常工艺状态遭到破坏时，可以立即采取消除其产生原因的措施．

在列宁格勒国民經济区的紅色城市工厂的造紙机上成功地使用了 БИВ 型仪器，这种仪器經过成年的使用，表明了它具有很高的工作效能．

БИВ型仪器在工业生产的各个部門中的应用不仅可以調整連續检查在机器上通过的产品，而且还給生产工艺过程的自动化开辟了广闊的远景，因为是以电的信号表示材料的重量或者厚度的表，而这种电的信号可以相应的調节系統中得到应用．类似的工作正在进行着．现在塔林检测仪器制造厂正在

成批地生产 БИВ 型仪器.

中央棉織工业研究所已研究出一种用来在清棉机上检查棉卷不匀的仪器. 当某一段棉卷的重量与工艺上所确定的范围有偏差时, 仪器就发出灯光信号. 这种仪器的測量装置是由放射性輻射源、二个电离室以及一个利用补偿法来測量电离室电流差数的自动电子电位計. 測量是在棉卷所有的寬度上来进行, 传送器安装在清棉机的压平捲筒軸之間.

全苏印刷工业科学研究所已研究出一种測量涂层的 БТП-1 型的 β 測厚計. 这种仪器的工作原理是測量 β 輻射的反散射, 它的用途是測定在印刷工业中应用的平面物体的涂层厚度.

БТП-1型仪器是由一个可移动的带有支架的測量头和一个电子測量装置所組成. 測量头制成圓柱形, 在它下面的端面部分放有环形的輻射源. 从被測量物体反射出来的射綫流由微分电离室来进行記录.

莫斯科(城市)国民經济委員会日丹諾夫第一样本印刷厂利用 БТП-1 型仪器来进行胶印双金属鑄型的鉻涂层厚度的检查, 这就有可能使得双金属鑄型的鍍鉻和酸洗过程正常化, 并且可以减少废品. 仅仅在制造薄片和鑄件时在一个鍍鉻槽中一年就节約了将近 8 千卢布.

БТП-1 型仪器同样在"紅色无产者"印刷厂的生产中进行了运用, 它是用来对鉛版中的鍍鎳过程进行选择性的检查.

中央皮革和制鞋工业科学研究所已研究出一种用来測量制成的皮革和皮革原料的放射性測厚計. 这种測厚計可以不切样品来測出皮革的平均厚度, 其范围是由 2 厘米到 5.5 厘米之間. 仪器的工作原理是測量同位素 Ce^{144} β 輻射源物質的衰减. 类似的这种測厚計可以有效地运用在毛皮进厂时的分类工作.

毛皮工业科学研究所已研究出一种用来測量毛皮稠密的仪器——輻射稠密計, 这种仪器在毛皮企业部門中的試驗表明了在測量毛皮的稠密度方面与現有的方法比較起来, 它具有更高的精确度.

塔林检測仪器制造厂与苏联拉脫維亚科学院一起研究了一种 УРИТ-1 型放射性厚度測量計. 此仪器的工作原理是根据射綫在經过被測量物質时被記录的射綫减弱的現象, 射綫的測量是利用微分电离室来进行. 仪器中采用了零位补偿測量法, 并装有自动頻率控制綫路.

除了上述的測量仪器和綫路外, 在輕工业中同时还广泛的应用了継电器技术仪器和綫路.

在紡織工业中应用了由中央紡織工业研究所所研究出来的 PPУ 型放射性水平調整仪, 此仪是用来检查和調整印染生产时紡織物在蒸責机內的水平面, 在蒸汽和周围空气湿度大以及温度高的情况下, 蒸責机內用一般的方法是不可能調整紡織物的水平面的.

PPУ 仪是一种固定型的装置, 該装置的組成部分有两个放射性 γ 輻射传送器, 两个具有 СТС-8 型自减卤素計数管形的輻射接受器、放大器、継电器自动化設备和灯光信号盘. Cs^{137} 制剂用来作为輻射源.

PPУ 型仪目前在莫斯科、加里宁和伊万諾夫区的某些紡織生产印染厂中应用着. PPУ仪目前在中央紡織工业研究所的"紡織仪器"工厂中小批生产.

継电器自动化方法在里加的"德津塔尔斯"香料化粧品工厂中的应用显示出了它是生产工艺过程中检查和自动化的一种极有效的方法.

过去在工厂中对金属軟管[1] 装料的检查是有选择的进行, 这就必須对許多批的軟管进行过秤, 同时必須进行挑废品. 現在在軟管装料自动机上安放了一个 PK-4 型放射性检查仪. 它是由标准 β 輻射源 БИ-1、РД-6 型放射性传送器、УРАЛ-3Д 型电子継电組和 БСК-1型計数整流装置軟管装料的检查是利用了 β 輻射透过收口处附近的截面的方法来检查装料的水平.

装料量不够的軟管进入检查处时, 传送器即記录下很强的射綫, 而电子継电組則使継电器动作, 此継电器将操纵軟管进入废品容器装置的电磁鉄連接起来.

在切管自动机上对鋁制軟管的半成品进行連續的加工. 在这个系統中的操作工序之一是将圓盘車刀送到鋼的阳模上, 在阳模上装上軟管半成品以便滾压出螺紋, 如果由于某种原因半成品的鋁管不輸送到阳模上的話, 那末阳模将露出外面, 車刀与它相碰时将損坏. 为了預防这种現象安装了放射性閉鎖仪表, 这些仪表是由放射性 β 輻射源 Tl^{204}、放射性传送器 РД-6 和 УРАП-3Д 型电子継电器組所組成. 当軟管在自动装置的入口槽上停止輸送时, УРАП-3Д 型継电器組即断掉自动装置的电传动的磁力起动器的电路. 在两台自动切管机上应用了放射性閉鎖装置, 一年的經济效果約为 15 万卢布.

"德津塔尔斯"工厂还应用了由压力計組成的放射性压力調整器, 在压力計的針上装有一个 β 輻射源, 而在刻度外面装有 РД-6 型放射性传送器在传

1) 譯者注: 此金属軟管系是鉛鋅等制成的包装用的小軟管.

送器对面的刻度尺上开了几扇使射綫进入用的窗．传送器接到 УРАП-2А 型双路电子継电器組的电路中，而継电器組与电动机的磁力起动器相联結．应用了这种放射性压力調整器一年的經济效果是将近4万6千卢布．

“德津塔尔斯”工厂极有成效地应用了放射性双位水平調整器（安装在立轉式倒出自动机上）和 РД-6 型放射性传送器（在对香水中的液体成分定量时用）．

中央絲織品工业科学研究所正应用放射性同位素进行中和作用的研究，其方法是使人造纖維在加工时所产生的靜电空气进行电离．

应用 Pu^{239} 和 Pm^{147} 来作为放射源，“紅玫瑰”联合工厂应用 Pu^{239} 来中和在醋酸纖維上的靜电荷，也显示了这种方法同样具有高度的效率．

在“紅玫瑰”联合工厂的整經机上以及在那罗福明紡紗工厂的紡紗机上应用 Pm^{147} 的 β 輻射源来消除在醋酸纖維和粘胶纖維上所产生的靜电荷同样显示了很大的工艺效果．

莫斯科紡織学院紡織技术教研室独創地利用放射性同位素来研究織造过程中織物形成．在工作中得出了結論，即在織布机上可以确定織布机送料的一些良好的标准参数（經紗和緯紗的张力、平綜度等等），这有助于保証織布机的最大生产率和紗綫在編織循环中的重量和分紗方面使織物具有最好的結构．

在木材加工工业中进行了有关在这个国民經济領域中利用放射性同位素的研究工作．例如，罗斯托夫工程建筑学院和罗斯托夫国民經济区机械制造工艺研究所曾对木材的一些 γ 輻射测量問題进行了实驗性的研究．莫斯科林业技术学院利用单体接枝然后进行輻射照射来研究木材的变体問題，同时还研究了 γ 輻射对木材的某些物理机械性質的影响．

放射性方法愈来愈多地应用在輕工业的各个部門中，它将成为工艺师和研究者的可靠同盟者．

斯拉金斯基（А. Н. Слатинский）

放射性同位素和核輻射在机械制造中的应用

目前工业生产中，在工艺过程的检驗与自动化，工业产品质量检查，金相学与冶金学的研究，鑄造生产和銲接技术等方面都已广泛地应用着放射性同位素和核輻射．

机械制造业中主要部門的自动化决定于放射性检查装置的科学技术发展水平，其中有重要意义并經常起决定作用的就是利用放射性同位素和核輻射对生产过程进行工艺检查的那些仪器．目前苏联許多单位已开始对利用同位素检驗工艺过程的新方法进行着科学研究．

在机械制造业中，放射性同位素在以下几方面已得到最广泛的应用：銲縫、鑄件、机器零件及組件的探伤检查，检查机器設备在运轉过程中所出现的故障等．为此，在許多大規模生产的机械制造厂中，都有特殊的实驗室．

在这些工厂內，γ 射綫照象探伤法已是工艺过程的一个組成部分．在工业中采用了这种方法已带来了巨大的經济效益．例如，列宁格勒的基洛夫起重运輸設备厂，由于使用 γ 射綫探伤法，每年可节約6万3千卢布，在塔干罗格“紅色鍋炉工人”工厂——23万卢布，在德聶伯罗彼特洛夫斯克的冶金設备厂——68万6千卢布．

已生产出九种硬度不同的 γ 射綫的射綫源，可供 γ 射綫探伤用，其中应用最广的有 Co^{60}，Ir^{192}，Cs^{137}，Eu^{152}，Se^{75}，Tu^{170}．

应当注意到，放射性射綫源的产量同相应的供照射检查制品用的（在射綫能量和强度上）装置的产量之間还有一些脱节现象．在各种工业和建筑部門中应用的小型、輕便、可携带的 γ 探伤仪器是特别感到缺乏的．

现在所应用的 γ 射綫照象探伤法，虽然其检查結果有較高的灵敏度和客观性，但是生产率却不高，因此使生产过程自动化受到一定限制．从生产率观点出发，最有发展前途的是应用电子光学轉换仪和电視装置的检查法，以及电离法和干印法．但是这些方法目前还只是停留在实驗室研究阶段．

为了在金相学、冶金、鑄造生产和銲接技术中应用放射性同位素，已对下述几方面的工作方法进行过探討：放射性同位素放入液体金属的方法，以及放入电焊条的鍍层和放入电焊条內的方法；应用自动射綫照象对各种元素在金属和合金中分布和重新分布作定量和定性研究的方法；对同时含有两种元素同位素的金属和熔渣試样的分析方法；应用放射性同位素确定金属和合金在快速加热时的扩散参数的工作方法等等．

在金相学和冶金研究中，对实驗工作最有用的

同位素有：C^{14}，P^{32}，Si^{31}，S^{35}，Cr^{51}，Ni^{59}，Mo^{99}，Ca^{45}，Ce^{141}，Ce^{144}，W^{185}，和水的同位素—氚．

对各种元素在鋼的鑄造結构中的分布情况及在均匀化处理时的扩散情况进行过研究，根据研究結果可以确定在結晶过程中，基本金属在鋼的宏观和微观体积中的分布情况．研究了热加工条件对各种元素在鋼內最終分布的影响．制定了一些有重要用途的鑄件的热处理規范．

利用放射性同位素研究了在鑄造和过热鋼中能导致鋼的晶間破裂和使强度急剧降低的結构形成的机理；根据研究結果，就可以制定在生产条件下消除这些严重缺陷的方法，那就是在鋼水中加入特种附加剂进行处理．加入这些附加剂就可使高强度合金鋼的热处理規范大大簡化．

为了研究利用含鎢废料中的鎢来熔煉鋼的工艺过程，曾探討过保証磷和鎢在主要熔炉中能分别氧化的条件．已經得出，在原則上可以利用含鎢废料中的鎢来进行熔煉．

利用放射性同位素研究鑄造中污垢来源的方法是很有前途的．利用这种方法可以找到出現污垢的原因，制定出急剧減少它的措施，从而大大地提高合格鑄件的产量．可以利用鈣、鈰和硫的放射性同位素来研究鑄鉄变形时的流动过程．研究了在加入鈰、鋯、釩、和鈦后，对硫和硫化物成分在鉻鎳鉬合金鋼內分布情况的影响．通过这些研究，可以确定硫的化合物形成特性随着鑄造条件，鋼的化学成分及其他因素而变化的情况，以及确定某种组分对鋼的塑性及韌性、特别是回火脆性的影响，并能找出最好的硫的化合物形成条件．

在貝尔米和高尔基国民經济区中，当設計在新的工业生产設备中連續澆鑄鋼水的工艺規程时，利用C^{14}，Si^{31}，和S^{35}的放射性同位素研究了結晶的过程和鑄錠內夹杂物的分布情况，这样就可以找出結晶器最好的結构形状．

利用氫的放射性同位素——氚，对氫在合金中的分布进行射綫照象研究时，得到了很有意义的結果．

苏联科学院冶金研究所已完成下述工作：确定合金微观不均匀度和鑄造时輕合金冷却速度之間的关系，以及和压力加工时的变形程度，均匀化处理的加热状况之間的关系．当研究新的耐热合金鋼时，曾利用Ca^{45}和Fe^{59}的放射性同位素做为指示剂．

銲接工作中的一項最重要的任务，就是确定母体金属、电极絲和复盖层（助熔剂）中的各种元素进入銲縫的煉制合金中的比例，和有害杂质在銲縫中的飽和程度．利用将被研究的各种元素放入母体金属、电极絲或电复盖层中的方法来研究每种元素从某一来源进入銲縫的数量．現已确定，在手工銲的銲縫中約有9—14°%的硫是来自助熔层的．銲縫中有15—35%的硫是来自母体金属，从电銲条中进入銲縫的硫約为51—72%．銲接时若改变电流强度，这个比例关系也将随之改变．

利用射綫照象法研究了氫在奥斯丁体鋼的銲縫中的扩散机理，并找出了銲縫周围强度降低的原因．

利用放射性指示剂法可以大大改善銲接工艺．利用上述几种同位素可确定奥斯丁体鋼的銲縫产生裂口（热撕裂）的原因，研究了用ЭИ-257型号鋼制的高压輸气管銲縫局部破裂的原因．实驗指出，銲接結构产生裂縫的原因之一就是由于某些元素在母体金属和銲着金属之間交界部位上的急剧富集．

提高机器零件和工具耐磨性是机器制造业的根本任务之一．应用放射性同位素可以确定机器和器具花费时間和费用最少的运行和技术操作的最佳工况，并且能选出最能抗磨的各种材料偶件，評价結构的好坏以及評定燃料和潤滑油的质量等等．

許多科学研究机关已制定了一些內燃机零件和变速箱磨損的台上試驗法和运轉試驗法，了解了潤滑油的防磨性能，并研究了切削刀具的磨損．

符拉基米尔和阿尔泰拖拉机工厂的磨損检查方法的应用經驗，可以表明放射性同位素用于上述目的所获得的經济效果．例如，符拉基米尔拖拉机工厂在冬季工作条件下对新的气冷式发动机的汽缸活塞組各零件的磨損进行了試驗，結果証明了磨損量降低到四分之一（根据汽缸外表面的数据）．发动机汽缸活塞組的总耐用度提高了50%左右．在工厂露天試驗站上进行的运行試驗的結果表明，要确定磨損速度只需5小时就已經足够了．

哈尔科夫拖拉机工厂利用放射性同位素进行活塞环粘結的研究，确定了潤滑油合理的换油期限．新的加长了的换油期限在实际中的应用不仅能大大地节約了柴油机油和费用，并且还能因降低了各零件的磨損而使发动机的使用期限增长．

由于全苏石油瓦斯加工和制取人造液体燃料科学研究院所进行的各种油料添加剂性质和作用机理的研究結果，选出并已决定在工业規模生产供机車柴油机使用的ВНИИНП-360号潤滑油附加剂．交通部中央科学研究院所进行的实驗室研究工作提高了机軸油的減磨性能．

全苏机械化研究所由于創造了馬达油快速試驗法，因而提出了关于ДТ-54型拖拉机发动机中齿輪

箱油的使用期限的建議. 由于实行了这些建議,仅在俄罗斯苏維埃联邦社会主义共和国,每年卽可节約柴油机油2万5千吨,約値3,250万卢布.

在金属切削加工中,放射性同位素可用来确定刀具材料的切削性能,决定結构材料的加工性和合理的切削規范,选择冷却潤滑液,制訂和校驗切削操作制标准,为設計金属切削机床提供原始数据等等.

应用放射性同位素可以不必停止切削过程而快速測量刀具磨損产物的数量,与測微計測量法相比,放射性同位素法可使試驗时間、金属及其他材料的消耗量減小到50分之一,并且提高磨損产物測量結果的精确度,稳定性和可靠性. 这种方法可使原来以直綫尺寸記录的刀具磨損量轉变为按重量或体积的測量来記录磨損产物.

鑄件和銲接制件的γ射綫探伤是机械制造业中放射性同位素应用的主要方向,它能获得最令人滿意的經济效果.

各工业企业利用γ射綫探伤法已經有很长的时間了,所以莫斯科包曼高等工业学校和苏联科学院經济研究所曾对100个机械企业进行了研究工作并判定了使用γ探伤而获得的經济效果. 应用γ射綫探伤而获得經济效果的原因是:废品额的降低和产品質量的提高,及时地发現缺陷及其修补,在銲接和鑄造工艺过程中的检驗,用γ射綫探伤代替了其他检查方法等等. 由于使用γ射綫探伤法可使因銲縫缺陷而造成的废品额降低到1/3—1/8(根据对补償书的分析).

由于卽时发現缺陷和減少最終废品额,仅在德聶伯罗彼特洛夫的冶金設备工厂中,每年卽可节約70万卢布;由于降低了返工的费用,在"俄罗斯柴油机"和"紅色鍋炉工人"工厂中,每年可节約15万卢布.当用γ射綫探伤法代替了伦琴射綫检查裝置后,使在检查厚度为30—40毫米厚的鑄鋼制件和銲接鋼件产品中的消耗降低15—20%. 在一个企业中平均每5万张γ射綫照片可节省10万卢布左右. 由于应用γ射綫探伤法所得到的总的經济效果,根据1958—1959年的統計,全国各企业每年总共可节約2亿到2亿5千万卢布.

放射性同位素更多地应用于检驗工艺过程中的各类仪器上.

由于放射性同位素用于检查軋制带鋼的厚度及白鉄皮上鍍錫层厚度的結果,可以使检驗过程自动化,降低单位产品原材料消耗量,減少废品,并可提高生产率,保証企业在同样的生产能力条件下增加产品产量.

利用检查白鉄皮鍍錫层厚度的仪器所获得經济效果,其原因是由于降低了耗錫量(在1吨白鉄皮上可节約718卢布),解除了部分工作人員的劳动,降低了輔助材料的消耗等等. 在这种工业部門中完全使用放射性仪表时,机械制造业每年就可获益8—9千万卢布.

用无接触式(放射性)检查仪器代替接触仪器可使废品额降低到1/3—1/4,并能把压延机的生产率提高10%(分析10个以上軋鋼企业后的統計). 检查軋制鋼材厚度时采用的每一台放射性同位素仪器能获得的經济效果每年約达50—55万卢布.

由于里加电机制造厂将β継电器应用在自动机床的連鎖装置上,这样可降低刀具消耗费用及解放劳动力,每年在每一台自动机上节約1万5千卢布,这样每年总計可节約120万卢布.

应該指出,在研究与采用新的放射性同位素检查法和检驗仪表的每一种情况下,要与現有的方法进行技术經济比較,以証实其合理性.

芦緬采夫(С. В. Румянцев)

放射性同位素和核輻射在农业中的应用

放射性同位素在农业上的利用首先是从研究植物、土壤和肥料之間的相互关系开始的,其目的是为了制訂一个合理施用无机肥料的規則.

借助于同位素法,已經找出了为滿足植物在整个生长期內对无机营养元素的需要而施用无机磷肥的最好的部位和时期. 也查明了有机-无机混合肥料的各种成分对植物吸收磷素的影响.

放射性磷在闡明植物根外追肥的农业方法上起了决定性作用.已經証明,涂在棉花叶子上的磷很快被植物吸收,并大量进入生长点-幼叶和果实細胞.而棉花成熟期的根外追肥則促进产量和纖維質量的提高. 因而,根外追肥作为一种农业方法在烏玆別克斯坦,塔吉克斯坦和苏联其他产棉加盟共和国內得到广泛采用.

放射性示踪法不仅有助于正确地解释使用顆粒肥料的高效性;同时也有助于規定对于各种不同的肥料,作物和土壤来說最合理的顆粒大小. 根据已得的資料曾提出了关于改变化学工业所制造的顆粒

过磷酸钙規格的建議。索科洛夫（А. В. Соколов）利用放射性示踪法拟定了直接測定磷肥使用率的方法，結果証明：与一般概念相反，在土壤中，被施入的磷酸盐并不发生迅速的結合；因此，多年經常性地施用磷酸盐将导致其过量，即所謂的"土壤磷酸化"。在磷酸化的土壤上，追施磷酸盐就不会得到应得的增产量。

在实驗站的实践中，广泛地采用索科洛夫的同位素方法来測定被吸收的磷酸盐含量和磷肥利用系数，就可以向国营农場和集体农庄提供在預期通过施肥能得到最大經济效果的土壤上进行作物播种的根据。

据涅烏尼洛夫（Б. А. Неунылов）的資料，在海参威地区应用索科洛夫的方法促进了在水稻国营农場土地上磷素施肥制度的改善，并从 1400 公頃的面积上增产了价值一百万卢布以上的产品。

但是学者們所获得的資料还沒有进行广泛地宣传，而且很少为农业生产实际工作者所采用。

还有另一个比較有发展前途的領域，在这里利用同位素方法有助于为那些不費巨大代价而使产量增加的农业方法提供根据，这就是通过給植物噴洒化学物質的方法最大限度地使植物綠色部分可塑性物質有效地形成收获物。根据馬鈴薯栽培研究所的資料，当馬鈴薯收获前在其叶茎上噴洒硫酸銅溶液，则产量增加 50 公担/公頃（产量为 200 公担/公頃）。

大家知道，在机器收割前为了快速摘除棉花叶，乃用化学物質做为脫叶剂。中央亚細亚棉花栽培研究所利用磷的放射性同位素确定了：什么样的脫叶剂可以保証养分从脫落的叶子里最多地进入棉鈴中去。特别是，当叶子自然緩慢干枯时，进入叶子的磷素有 25% 轉移到棉花壳和棉鈴中去；用氰化钙脫落时则是 19%；而当以氯化鎂脫叶时，仅 3—6% 轉移到棉花壳和棉鈴中去。应該认为：正确地选择脫叶剂，在最短时間內可以得到巨大經济效果。

近年来又开始发展了一个新的方向——即在植物选种实践中应用示踪原子。利用磷的放射性同位素，根据小麦幼苗吸收磷的速度的相对变化，规定了冬小麦抗寒性的早期診断方法。确定了品种抗寒性与 P^{32} 进入强度之間的一定相关性。利用磷的放射性同位素不同的进入速度的方法也适用于测定棉花的早熟性以及黄瓜第一个真叶形成时期的早熟性。

在会議上，再次提出了一个久悬未决的問題——为了提高产量而在播种前对农作物种子进行 γ-照射的实际应用的可能性問題。

不同的科学家得到了各自相反的結果，但是总的說来刺激效应的存在則未被否定。庫津（А. М. Кузин）及其同事們提出了这样一种可以在实践中推行的方法，即用 300—3000 伦琴的剂量对农作物特别是蔬菜作物（胡蘿卜、小紅蘿卜、番茄和甘兰）的种子进行播种前 γ-照射，这就使这些作物的产量提高 15—30%。根据苏联科学院經济研究所計算，上述作物的待播种子中有 25% 进行照射，則每年将增加价值 2 亿卢布的产品。

在农业上利用輻射的另一重要方向就是利用电离輻射来加速农作物的遺传演变，以促使其得到新的有益特性。在小組內曾經介紹了关于如何取得經济上有前途的冬小麦輻射变种（小麦——鵝冠草杂种 186 号）的材料，它具有短而坚韌的莖稈，大穗以及对黑穗病和白粉病的抗性。

为了同农业害虫作斗爭，在广泛地应用化学毒剂。到最近为止还沒有一种足够灵敏的方法能够测定动植物經化学毒剂处理以后在所制成的食品中存留的极少量有毒物質的数量。現在利用同位素碳[14]已証明，不可忽視甚至少量的高毒性物質，它在施用以后超过四个半月的时間內还发現在牛乳中。化学毒剂随牛乳进入动物有机体以后，首先长期地寄存于脂肪組織以及脑髓，脊髓和骨髓中。

在小組內报导了已研究出的用同位素检查农作物化学毒剂处理效应的方法，这种方法是寻求样品（叶、莖和插条）的活性与噴射溶液的单位容积活性的比例关系。通过在生产条件下对这种方法的检驗証明了它适用于确定各种不同噴射裝置的最好的技术經济工作指标。

托米林禽类制品厂的人員同苏联科学院遺传学研究所的共同工作表明了，在鸡蛋孵化期中可以利用极小剂量的 γ 輻射（0.001—2.0伦琴）来刺激胚胎发育（雛鸡出壳率提高 3.5%）以及提高胚胎发育期中被照射过的幼母鸡的产卵能力（提高达12%）。实际上雛鸡生活力和母鸡产卵量的提高可以提供巨大的經济效果。

在水利土壤改良和机械化方面，应該提出对土壤中示踪水移动情况的研究工作。这些工作有助于論証在重粘土上利用更簡便的新排水法的必要性。这方法規定了敷設疏散的排水管道使其与地表的农业土壤改良措施相結合，这将使得每年节約将近二百万卢布。也报导了放射性測量仪表設計方面的研究工作，而这些仪表将使各种观察和測量时間縮短几十倍。特别是已設計出一种 γ-混浊度測量仪，用来测定流水中悬浮的和被吸引到底部的泥砂的稠度。与常用方法比較，这种仪器将使測量时間由5—

12小时变为2—5分鈡。中子湿度計的制造成功也是值得提及的，用它可以在几分鈡內測出土壤中水分的絕对量(每一立方厘米的土壤中含水若干克)。同样地，根据γ-射綫吸收和散射的原理制成了γ-土壤湿度計和用来測定地面雪复蓋层中貯水量的γ-仪。上述仪表已开始应用到科学研究和实驗机关的实践中。1960年将使用約60种γ-湿度計。上述仪表将不断提高劳动生产率，并在生产中广泛地应用时每年可能节約200—350万卢布以上。

阿尔切米也夫(Ю. Н. Артемьев)和斯拉別尼昂茨(Р. А. Срапенянц)拟定了一种簡单而准确的方法可以直接在运轉着的拖拉机发动机上测定活塞环的焦化时間，这种方法适合于在发动机上快速检定不同牌号柴油的使用品质以及确定机箱中最好的换油期限。根据田間試驗和实驗室試驗确定，要保証ДТ-54发动机的长寿命和安全运轉，則它的换油时間不是象过去規定的那样每隔120—180小时换一次而是隔360小时换一次。

借助于同位素的方法，研究了种子在篩选装置的筐篩上的运动特性；选定了利用气流和篩子的搖动按在干燥环境中的比重来分选种子的最好的操作制度。所得資料便利了对精确地按照比重来分选种子的机器的設計工作。据了解，用这样的种子播种使产量增加到20→25%。

根据不完全的縮小的統計，在农业上采用这些利用同位素和輻射而完成的工作成果，每年将节約4亿5千万卢布。

杰祖林斯基(В. М. Зезюлинский)

放射性同位素和核輻射在食品工业中的应用

放射性同位素与核輻射在食品工业上的应用范圍，基本上有下列几方面：

1. 用强烈的电离輻射对食物制品进行处理，借以延长貯藏期限，防止食物制品的虫害，并改变被加工的原料性質等等。

2. 用放射性同位素(示踪原子)作指示剂来研究工艺过程与設备，使其改进。

3. 将放射性同位素用于控測和使工艺过程自动化的仪器中。

强烈的电离輻射在食品工业中的应用是一个十分复杂的課題，不但須解决技术操作的种种問題(如选择輻射所必需的剂量及輻照方法，拟訂制品接受照射的准备程序及受照物品的貯藏条件等等)，而且也須解决关于受照制品的除害及食用的問題。

目前我們已累积了大量資料，表明輻射的处理在5—12兆电子伏以下时，食物制品中并不存在感应放射性，而且有毒物質及致癌毒質均已消失；同时也已确認，經过γ輻照以后，某些对人体有价値的物質(抗敗血酸，硫胺素，麦胚酚)遭到破坏。但在制品进行热处理时，也可見到这种破坏情况。某些制品发出了未經輻照食物所不該有的滋味及气味，这也有很重要的意义。

这种因复杂的氧化还原过程而引起的变化强度取决于制品的化学成分及照射剂量大小。因此，若用1,500,000—2,000,000拉特的剂量来照射肉类，它便发出一种特殊气味，这种气味在烹飪时即消失。若把剂量减少到500,000拉特，这种特殊的气味不再发出。相反地，把剂量增加到4,000,000—5,000,000拉特，就会引起器官感覚性能及化学成分的剧烈变化(破坏維生素，起氧化作用等等)。

对植物类制品进行輻照时，通常不会产生另外的杂味和气味，但可观察到組織的某些軟化現象(其强度远較制品在热处理时为小)。

应用各种方法做好食物制品的事先准备工作(如抽眞空，冷冻和加入接受体等等)，能減低輻照作用下所发生的变化强度。

对某些制品进行輻照时，必須考虑到它們在酵素作用下所发生的变化；只有在照射剂量达10,000,000—15,000,000拉特时酵素才完全鈍化。因此，倘若制品中存在着頗为活性的酵素系統，則必須采取补充办法(輕微的热处理，为貯藏所必需的适当温度，阻化剂的应用等等)使其鈍化。

由此看来，在对食物制品进行照射时，必須設法減低剂量；这不仅是从技术及經济的观点出发，同时也是为了提高受照食物的質量。因此，照射的剂量定得愈低，将此法迅速应用于实际的可能性愈大。基于这些理由，可以得出以下結論：电离輻射在工业上的应用，以下列各个領域最为合宜：防止馬鈴薯发芽，食物制品的杀虫工作，以及延长易腐食品的貯藏期限。

苏联科学院生物化学研究所所作的研究表明：馬鈴薯在块莖休眠完毕时发芽，与其生长点的胞核酸的合成有关。这种合成作用在輻照下驟然緩慢起来。因此，馬鈴薯的块莖若用10,000伦的剂量进行

照射，那末它即使在地窖里貯藏一年另二个月而不加人工冷却，也不会发芽。可以預計，用5,000到10,000拉特的剂量来照射馬鈴薯，再与其他方法合并使用，可以将它的貯藏期限延长一年半之久。

苏联保健部已准許将10,000伦剂量以內照射过的馬鈴薯用来充当食物，并决定在最近的将来建立一座試驗性的生产設备，作为輻照块莖之用。在这个設备里，拟采用鈷[60]作为輻射源，其总放射性为50,000克当量鐳。这个設备每季能处理馬鈴薯20,000—25,000吨。

根据苏联科学院經济研究所的資料，把輻照应用到馬鈴薯上可能节約一千五百万卢布。

无数的試驗証明，若用10,000—50,000拉特的剂量进行照射，可保証消灭害虫的生殖机能，从而使谷物、米、干蔬菜与果类以及浓縮食品在貯藏时不致敗坏。苏联医学科学院食物研究所的試驗說明：谷物經过30,000伦剂量照射后，其性质与未受輻照的谷物毫无差別。

在工业上利用射綫杀虫，必須作好半生产規模的研究工作。这一工作，将于1960年用全苏谷物科学研究所的特殊的强鈷(100,000克当量鐳)γ-射綫装置来进行。

在造成食品变质的許多原因中，微生物起着极为重要的作用；由于微生物的生机活动，大大地改变了食品的化学成分与性质。

电离輻射抑制了微生物的繁殖和它的別种生活功能，有的部分地，有的全部地，要看所用的剂量而定。苏联科学院微生物学研究所曾就电离輻射对微生物在生理学、形态学及其他特性方面的影响进行了詳細研究。究竟用多少剂量才能杀死微生物，要看微生物的种、系、外在条件及其他因素而定。要使食物制品中大部分細菌鈍化，需用1,500,000—2,000,000拉特剂量单位的照射剂量。但某些較顽固的微生物需用5,000,000拉特剂量单位的照射剂量才能完全消灭。这样高的剂量会使多种食品的化学成分及滋味大大地改变，特别是乳类。

实驗証明：微生物同一系的各种細胞，对射綫的稳定性各不相同。只有为数不多的細胞对射綫具有高度的稳定性。絕大部分微生物用較低的照射剂量(50,000—500,000拉特)后即行死亡，对食品的质量并未造成严重損害。如果所用的照射剂量足以使90%以上的微生物細胞死亡，那末，正如中央罐头及干菜工业科学研究所的文章所指出的，食物制品的貯藏期能延长二倍到七倍之久，而质量并不因此变坏。

应用輻射使食品中的細菌完全杀死，这是一个相当复杂的問題。在这种情况下最有发展前途的，可能是采用一种綜合性消灭微生物的办法（与輕微加热、抗菌素的处理等相結合）。

在苏联已建立起二座实驗性的照射設备，以便全面研究有关利用輻射来处理食品的种种問題。一座設备利用装有鈷[60]的放射性輻射器，鈷[60]的总活性为220,000克当量鐳，剂量功率每秒可达2,500伦。另一設备系5,000,000电子伏的直綫加速器，照射剂量的功率保証达到每秒100,000伦。

全苏啤酒釀造业科学研究所曾用示踪化合物对酵母在酒精发酵时的新陈代謝进行了一系列的研究。研究結果，使后发酵期順利地轉入了主发酵期；加速了与氧化还原变化有关的阶段，并利用发酵制备物来达到这个目的；为了二氧化碳飽和，用了压力为3—5大气压的二氧化碳；为了进行澄清，用分离器作了快速过濾。在用示踪化合物研究发酵与后发酵过程的基础上，新的釀造过程使发酵时期从八昼夜縮短到二昼夜。这种新的工艺已被应用到生产上来。

酒精发酵方面其他重要問題，已由中央酒精工业科学研究所进行研究。对微生物各种培养基的培养价值研究結果，說明了要保証酵母的正常生机活动，谷物的麦芽浆含有干燥物质15°或15°以上(系根据糖度計)。这种麦芽浆具有足量的氮、磷及維生素。因此在采用这种麦芽浆时不必加上綠色麦芽，这样可以减少谷物制品的消耗。

莫斯科肉类乳类工业工艺研究所曾对奶油的結构进行研究，这种奶油是借助于氯化鈣溶液。示踪同位素鈣[45]用种种方法（攪拌法及流水作业法)取得的。此外又研究了食盐在干酪块中的扩散过程，以及鈣在凝乳酶凝聚时对酪素的吸附作用和这吸附作用依賴于乳类酸性的程度。在研究干酪熔化过程的基础上証实了：(在熔化时曾用带示踪原子的盐)食盐阴离子与干酪蛋白质的相互作用带有吸附性。

全苏肉类工业研究所曾用示踪原子研究了肉类制品的盐腌过程，并闡明肉类蛋白质在制造熏腸过程中的变性作用。結果証明了将肉与腸身沉积在盐水中一起盐腌的方法，比干腌后在空气中灌腸的办法更为优越；因为在前一情况下，肉类蛋白质不会变性，因而烟熏成分容易进入香腸內部。这样就加速了优质香腸的制造过程。

全苏漁业暨海洋学科学研究所曾用示踪原子进行了一些工作，这些工作对漁业十分重要。研究指出，如魚体內鈣离子含量过多而鎂离子太少，我們就

发現它的新陈代謝減退，生长迟緩．增加鎂盐浓度能促使魚类发育．既得的数据，使我們有理由建議魚类加工厂在养鯉魚的池內放入鎂盐来增加水的硬度，鎂与鈣的相互关系应为1:4．此外又証明鈷在新陈代謝中起着很大的作用，在养殖池魚的人工飼养过程中，每昼夜在一公斤飼料內最好加上0.7—0.8毫克普通的鈷，这样可促进魚类生长，延长它的寿命．用这种飼料进行喂养，小魚即使在显然惡劣的环境里过冬，其产量也較定额高五倍．

全苏池魚业科学研究所的試驗說明了：养殖食用鯉魚时在飼料中加上微量的鈷，每条魚的平均重量可保証增加14%，总产量可增25—27%．只要全苏有半数池魚业用鈷加在飼料內，那末到1965年国家就有七千五百万卢布左右的額外收入．

全苏谷物科学研究所曾用放射性指示剂做了某些工作，以解决制粉业及混合飼料业所感兴趣的若干問題．最近面粉方面愈来愈广泛地摻入維生素，混合飼料中則加入了維生素、抗菌素及某几种金属盐类．既然这些附加物的数量只及制品的几千分之一，那末它們在制品內所分布的均匀性在很大程度上要看混合器的构造而定；而它們摻和的均匀程度，只有用放射性指示剂才估計得出．根据实驗結果，在五种已作过試驗的裝置中，有两种混合器被推荐于在工业上应用；目前，飼料配合厂及制粉厂即将采用这两种混合器．实驗結果，又指出了最合宜的混合方式．

目前我們正在研究麦粒在各式各样調节方法下水分的吸收与分布过程．这一問題的解决，对改进麦粒的磨粉准备具有重要意义．

莫斯科农业机械化电气化研究所用放射性指示剂研究了谷物在选种机內运动时的若干参数，全苏谷物科学研究所則研究了谷物在立式去壳磨米机內的一些参数．

放射性同位素检测仪器的应用：制粉厂及飼料配合厂自动化过程所遇到的主要困难之一，就是对谷物在盛粉筒与青貯塔內的注滿程度缺乏可靠的遙控測定办法．現下使用的水准器（膜式、电容式）需与制品直接接触，这样会使传送器发生严重堵塞，結果引起示度錯誤，并使仪器迅速损坏．此外，現有大部分水准器能够測定的只是靠近盛粉筒壁或青貯塔壁部位的制品的位置．

上述情况促成制粉业部門宜于采用γ-射綫水准器，它应当有四个位置（二个位置在盛粉筒下部，二个在上部），仪器的起动时間不应超出五秒．另外，輻射源与接受器的尺寸应尽可能小些，以便配置在青貯塔內部，因之仪器的起动极限値应当低些．考虑到青貯塔建筑之大以及邻室空气中会沾滿灰尘，必須尽可能将仪器的“电子—継电器”安放在离传送器150米以內的地方．

全苏谷物科学研究所为适应上述需要，已制出ГУ-2型四道γ水准器．輻射源放在青貯塔壁里，使輻射綫同时射向四个传送器，这样一来就可能三倍减少輻射源的必需量．

同一研究所又研究出一种根据穿过輥間間隙的射綫强度来測定正工作的輥間間隙大小的无接触測量法，用此法来代替过去将鉛片穿过輥与輥之間再測其厚度的方法．进行的試驗表明，仪器的示度对間隙的大小有綫性关系．用β輻射源时（鍶^{90}）可以測定小至0.05毫米的間隙，其精确性可达几微米．

成組的РПРУ-4型仪器可用来控制酒精厂及甜酒、伏特加酒厂酒精进料注合車間巨大容器內（4,000—10,000升）的酒精液位．液位測定可在容器上部的二个位置进行（第一个信号是預备的，第二个是执行的）．

为了补充上述这种經常的固定部位地控制灌注情况的系統，还可以采用一种定期測量槽內酒精液位的方法，以求更为精确地查清酒精的数量．这种測定可借РИУ-9型仪器来进行，为此必須把放射性浮子的小管安放到槽里去．

在薩拉托夫肉脂联合厂內，已应用УР-6型仪器来控制与調节在氫化时压热器內制品的液面．在克拉斯諾达尔的肉脂联合厂內，УР-4型水准器用以控制并調节造甘油用的真空蒸发設备蒸餾釜內物质的液位．

在制糖工业里，γ射綫継电器可用以測定糖蘿卜料槽內的裝料面．由于这种料槽在裝料的同时要发生强烈的振动及冲击作用，所以常用的接触式水准器很快就会损坏，而宜采用不接触式γ射綫水准器．

射綫継电器其他方面的用途，应当一提的是它可用以計算流水作业中的成件商品（РПС-11型仪器也可以使用）．在某些場合下，用РБП-1型仪器对瓶內注滿程度进行自动检查也是适宜的．目下工业上出产的РСДА-1型自动裝置，在許多場合下可用于多种成分混合物准备过程的控制与自动化，它保証可能根据液面的位置来进行液体的配料，其精确度为±1.5—2毫米．

放射性密度計（精确度为±0.5%）在釀酒工业上可用以測定被汲到发酵間的酒母的密度，并可測定过滤后的啤酒密度．

为了控制与调节各种液体混合物的准备过程，拉脫維亚共和国科学院物理研究所已設計出一种活动位置的密度调节器。这种调节器以使用普通的液体比重計为基础，比重計的位置受放射性継电器不接触式的控制。这种密度传送器用在单效真空蒸发器工作的自动控制綫路里，蒸发器系凝結甘油液之用。拉脫維亚共和国科学院物理研究所与里加油脂联合厂的专家們所规划出的綫路图里，规定使用放射性液面传送器及温度调节器。运用了这个綫路，就可使蒸发站的生产量增加40%，蒸汽的消耗减少3%，电能及水消耗减少23%，甘油的损失也可减少至0.01%。每一真空蒸发器每年节約总数达6400卢布。

全苏乳类工业科学研究所在自动真空蒸发实驗站內生产含有糖分的炼乳时，利用了 ПЖР-2 型仪器，实际作成了干燥物质的自动控制与调节的系統。温度的变化在±2°范围內并未引起对干燥物质测量結果的显著誤差。

里加"6月17日"糖果点心厂专家們与拉脫維亚科学院物理研究所科学工作者合作下制訂出制作方格片糕，面糊的自动化系統，这是射綫継电器在糖果点心业上一种有趣的运用。在这系統中，РСДА-2 型放射性混合定量自动装置作为一种基本元件而加以应用。

在总結放射性同位素与核輻射在食品工业上的应用时，应当指出这一領域內广闊的利用条件；但与此同时，在許多情况下，它們是否适用和經济效果如何尚未搞清。因此进行下列工作是适当的：(1)完成用有强烈輻射源的設备对食物制品进行照射方面的綜合性研究；(2)扩大示踪原子利用的研究范围，为此須保証食品工业的专业研究部門有相应的仪器以及食物制品內的示踪复合有机化合物（蛋白質、脂肪、維生素）；(3)研究应用放射性同位素仪器的生产过程自动化系統，并設計出新的放射性同位素仪器，来操纵一系列的制造过程，使其精确性与其他条件均能适应食品工业的需要。要制成試驗性的样品及一小批的这类仪器，必須保証有生产基地。

罗加切夫(В. И. Рогачев)

放射性同位素和核輻射在医学中的应用

里加会議与以前所召开的研究医学利用放射性同位素問題的所有会議都不同，它的重要特点是强調在医学临床实践中实际应用放射性同位素和核輻射。

报告人在会議上指出，苏联具备在最近几年內大大扩大放射性同位素在医学实践中的应用范围和用現代化放射医学技术装备保健机构的一切可能条件。

在进一步发展放射医学的事业中，放射物理学家应該起巨大的作用。由于已經出现了复杂的放射医疗設备，他們应当在制定射綫治疗計划和寻找及临床应用放射診断新方法方面，向放射科医生提供經常的帮助。这种共同工作的良好作用已由题为"同位素定位脊髓肿瘤时的自动 γ 射綫照象和扫描"[阿腊克洛夫(О. Г. Аракелов)，加別洛娃(Н. А. Габелова)，利亚斯 (Ф. М. Лясс)，馬尔图索夫 (Е. Г. Мартусов)]和"多路射綫照象及其临床应用"[弗兰克(Г. М. Франк)，加別洛娃(Н. А. Габелова)，利亚斯(Ф. М. Лясс)，馬洛夫(Г. А. Малов)]的报告所論証过了。苏联科学院生物物理研究所研究成功的仪器——γ射綫照象仪和八路射綫照象仪，可使放射性同位素在临床实践中成功地应用于脊髓肿瘤定位和研究血流力学的隐秘过程。报告人指出，設計专用仪器可以更广泛地在診断学中应用放射性同位素，仪器的高灵敏度可提供大大減少投入体內的放射性药品数量的可能性。

別利亚科夫(В. А. Беляков)，沃尔科夫(В. А. Волков)，古利亚耶娃 (Э. Г. Гуляева)，卡兰塔罗夫(К. Д. Калантаров)和什維尔科娃(И. И. Швыркова) 提出了题为"关于設計記录早期局部診断癌时体腔內 β 放射性的剂量检查仪"的报告。他們所設計的閃爍发送器能記录 β 輻射和在給病人投入指示数量 P^{32} 时测定高放射源。这一点已經临床应用于診断子宫頸癌了。

罗津內 (Д. Л. Розиный) 研究一批病人后証明，使用放射性磷体测定肿瘤(积累 P^{32} 的数量比健康的骨骼多)上面的輭致輻射，能够診断出乳腺向骨組織的轉移。闡明临床应用同位素的报告中有科集涅茨 (Г. И. Козинец)，菲尔图科娃 (Н. М. Ферчукова)，希捷科娃(М. Г. Шитикова)的报导"自动射綫照象法在血液学的研究中"。借助这一方法可以测定骨髓細胞的发育期間，輸入血細胞的成活率，这在换某些血液病时是一个可貴的診断测驗。

尼庫林(Н. Г. Никулин)报导了使用 J^{131} 测定

动脉粥样硬化时甲状腺的机能和风湿症各个期的結果。

会議以极大的注意听取了彼德洛夫（В. А. Петров）和巴拉吉耶娃（Н. М. Палладиева）所做的关于同位素剂量样板和专用图在临床剂量学中的应用的报导。他們提出的通过把同位素样板迭置在人体解剖断面概图上的方式测定深部剂量的方法，可以使医生正确地計算作用于被輻照器官和周围健康組織的能量。

若干个报告均討論了射綫治疗的問題。科兹洛夫（А. В. Козлов）的报告闡明了治疗恶性肿瘤的放射外科疗法。采用这一方法在做手术时，将放射性药品埋入伤口。这一治疗方法的优点是能够用必需的剂量和在最适期間內照射有限的組織。报告人所援引的恶性贅瘤病人治疗結果表明，无論在早期疾病或是在晚期疾病中，临床应用这一方法的前景是很大的。

沃尔科娃（М. А. Волкова）介紹了国立赫尔岑肿瘤学院使用鈷、鉈、碘和金的放射性同位素治疗恶性肿瘤的經驗。肿瘤学院所积累的材料表明了在治疗肺肿瘤，食管肿瘤和妇女生殖系統肿瘤等时，远达γ射綫治疗对一般X射綫治疗的优点。用多場旋轉輻照配合食管內貼补（40名患者）的方法治疗食管癌（180名三期疾病患者）的經驗允許罗伯特尼科娃（З. Ф. Лопатникова）推荐实际应用这一方法。

闡明在肿瘤学中临床应用各种射綫治疗方法的报告有：依瓦尼兹卡娅（Е. И. Иваницкая）的"子宫頸癌切除后及在治疗手术后复发时射綫治疗的作用"，李郝維兹卡娅（Л. Л. Лиховецкая）的"用人造放射性同位素治疗黑素瘤迁移的經驗"，Л. И. 鲁森娜（Л. И. Лушина）的"用放射性碘治疗流行型甲状腺恶性肿瘤"，毛捷斯托夫（В. К. Модестов）的"用放射性碘治疗甲状腺癌迁移"，沃尔科夫（А. А. Волков）的"用放射性金粒治疗不宜手术的末脑肿瘤的方法及临床观察"。所进行的研究表明，尽管已經获得了一定的成績，恶性贅瘤患者的治疗仍然是一个悬而未决的問題。綜合疗法的广泛应用，特别是在早期疾病中，大大地提高了許多类型恶性贅瘤的持久性痊癒率。

布拉义采夫（А. В. Брайцев），别兹查包特諾夫（А. С. Беззаботнов），查尔康（П. М. Залкан），那路什內（Т. И. Наружный），列別节夫（Б. М. Лебедев），塞茨（Л. И. Сыча）和耶夫列娃（Е. А. Иевлева）的报告"放射性同位素在治疗某些皮肤病时的治疗价值"和甫罗扣甫丘克（А. Я. Прокопчук）的題为"在皮肤学临床中使用磷、鍶、鉈、鋼、砷、鉍放射性同位素的經驗"的报告闡明了放射性同位素在皮肤学中的应用問題。

在关于在眼医中临床使用放射性磷的报导［杜包維（Е. Д. Дубовый），卡尔法（С. Ф. Кальфа）］中表明了用貼补法治疗严重角膜炎和眼巩膜炎的效果。

罗贊諾娃（Л. М. Розанова）和图卡琴斯基（С. Е. Тукачинский）的題为"应用放射性同位素磷治疗自发性紅血球增多症的一些总結"的报告闡述了由大块性放血术及內服放射性磷构成的自发性紅血球增多症的治疗方法。借助这一方法有可能确定在引入6—7毫居里 P^{32} 时的持久性治疗功效，限止慢性骨髓增生症的发展，并消除发生严重併发症（急性白血球增生，貧血）的危险性。

在納查里斯維耳（Г. П. Назаришвили），巴尔西耶（Л. Г. Парсие），节德格尼哉（Г. Ш. Зедгенидзе）的題为"在临床医学中应用放射性同位素的經驗"的报告中断言，X射綫疗法配合体內引入放射性磷是治疗白血性增生症和紅血球增多症最有效的方法。报告人还介紹了使用放射性同位素治疗和診断其他病症的經驗。

使用放射性的新的临床方法的推广在頗大程度上取决于用必需的設备和器具装备放射部門。維尔日可夫斯卡婭（М. Ф. Выржиковская）和柯里弗琴柯夫（Г. М. Кривченков）报导了关于实驗外科器械工具科学研究院所制造的放射性临床所应用的各种工具和装置。参加会議的人观看了一套应用放射性針的設备，一套往空心弹性腺引入放射性顆粒的設备，內組織引入放射性顆粒用的枪和一套引入放射性同位素溶液的防护注射器。

别尔洛夫斯基（А. Я. Берловский）的題为"临床学中放射工作的机械化"的报告闡述了想使放射性貼补品的制备过程合理化的嘗試，不必从防护仪器系統中取出放射性貼补品，从而大为降低了护理人員被照射的程度。

彼特洛夫（В. А. Петров）在他的报告中談到了建立和装备苏联保健部直属剂量检查組織的准备措施。提出了直属剂量检查組織由中央和一級及二級剂量检查站构成的組織机构。

列宁格勒放射卫生研究所的一批工作人員哥临（А. В. Горин），格罗斯曼（В. А. Гросман），德腊朴斂斯基（А. В. Драпчинский），耶基莫夫（Б. В. Екимов），腊耶夫斯基（Б. Н. Раевский），罗曼諾夫（Л. Р. Романов），斯托罗仁科（Э. П. Стороженко

ko), 費多罗夫 (Ю. П. Федоров), 沙夫临 (Г. М. Шаврин), 沙莫夫 (В. П. Шамов) 描述了安装在 УАЗ-450А 型汽車上的, 使用半导体仪器的流动式快速放射分析室.

米海依洛夫 (М. М. Михайлов) 和阿巴庫莫夫(Б. М. Абакумов) 在題为"采用直流半导体变电器工作的电离輻射剂量器"的报告中, 报导了关于制作能够代替 ДК-3 和 ДК-0.2 型剂量器的缺乏电池的半导体变电器的情况.

札德格尼德捷 (Г. А. Задгенидзе) 和沃罗比耶夫(Е. П. Воробьев) 在根据部通过的决議所做的簡評性报告中指出, 放射性方法是治疗人的强大手段, 射綫治疗的現代方法能够給予患恶性病的病人以极重要的医疗帮助. 但是現在放射性同位素主要是苏联大的主要研究所应用在診断和治疗方面, 在普通医院中还沒有得到广泛的实际运用. 現代放射仪器的研究和制造工作是不能令人滿意的. 会議的参加者建議苏联保健部仔細地研究会議的資料并定出进一步发展放射医学領域內的工作的具体措施.

利亚斯 (Ф. М. Лясс)

控制和使工艺过程自动化用的 α, β, γ 輻射源

各种不同性質的人工放射性同位素和輻射源的出現, 为工业各部門的工艺过程提供了制定和設計新的調整和检查方法及仪器的可能性.

目前, 已經研究成功并在工业上应用的无触点放射性厚度計、密度計、水平計、探伤仪及許多其他用于解决各种工艺任务和研究任务的放射性仪器.

在研究成功的仪器中有很多都已大批生产, 例如: 卡卢斯基高溫測量仪器厂生产 РИУ-1 型水平指示器, УР-6А 型和 УР-7 型水平仪, ПЖР-2 型密度計, МИР-3А 型压力計等; 塔林检测仪器厂生产 ИТУ-495 型、ИТУ-496 型和 ГТ-150 型厚度計, БИВ 型測重器, Р-4 型壁厚差度計及 РСП-11 型物品計数器等; 哈尔科夫检测仪器厂生产电子学継电器; 莫斯科 X 射綫設备制造厂生产 γ 探伤仪等仪器.

在研究仪器的同时, 并对用于上述和其它一些仪器的各种放射性同位素源的制备工艺做了进一步的发展和完善.

由于使用放射源的条件是各种各样的, 因而, 在設計放射源結构时, 极为注意安全問題和防止对周围物品、房屋的可能沾污.

另外, 还必須考虑到更高的工艺要求, 其中有, 輻射源能在零下几十度到零上 200—300°C 溫度下, 于空气介質和液体介質中工作. 而且介質还可能是浸蝕性的. 而輻射源也許要承受很大的撞击負荷和振动負荷. 在这样情况下, β 輻射源特別是 α 輻射源应該是很薄的一层放射性物質, 并与承載板牢固相联, 用防护材料絕緣, 一方面要保障在小量軔致輻射情况下得到最大的粒子产出率; 另外一方面要保障輻射源表面的清洁. 由于科学家、設計师和工艺师們的努力, 这些問題中的有較大一部分已經順利地解决了.

輻射源的制备技术有三种方法:

1) 呈絲状、棒状及其他形状使用放射性材料. 属于这一类的, 主要是用鉾絲、鈷絲和銀絲制的 γ 輻射源, 以及經核反应堆照射过的鈷棒状、γ 輻射源. 考虑到放射性物質的氧化度增高, 因此, 只有不超过几十或几百毫克-当量鐳的低放射性源才可制造成这种形式. 在某些情况下, (鉈^{204}) 活性材料还要补充地包在鋁箔中. 尤其是在使用这种源进行工作时, 必須非常小心, 装在仪器中时, 希望和仪器的其他部件完全絕緣.

2) 呈細頸瓶状使用放射性材料安瓿. 这种方法基本上应用在制备中等或高放射性 γ 源, 放射性材料或者放到单的或双的細頸瓶細致地封蓋收口. (Co^{60}, Tu^{170}, Cs^{134}, Ir^{192} 等), 或者焊接在玻璃細頸瓶里(Zn^{65})或者是金属細頸瓶里(Cs^{137}, Cs^{134}).

3) 以在各种底板上涂上活性层的方法制备輻射源. 这种方法基本上适用于制造含有同位素 Sr^{90}、Pm^{147} Pu (鈈)及某些其他材料的放射源时使用, 活性层以电解或者涂釉的方法涂上.

借助这些方法能够得到可靠的在实际应用中好用的 α、β 和軔致輻射源. 为了防止活性层的机械損伤, 同时也为了在需要时获得軔致輻射, 在某些情况下要将源放到特制的小盒內.

目前, 不算大量試驗性生产的輻射源外, 在工业上已成批生产由 14 种放射性同位素构成的200多种輻射源. 这样多的輻射源本身就要求进行某些分类, 为的是使輻射源生产标准化和定型化, 也为的是减輕合理选择輻射源的負担.

生产过程的控制自动化所需的全部放射性仪器的工作基础是确定核輻射与所研究的物体之間相互

作用特点的某些数量不大的原理．这首先是輻射通过物质时要減弱，在介质边界射綫要反射以及輻射的电离性能．显然是这些原理应当确定源的分类．

在研究 γ 源时，应該指出在某些情况下，它們的总和光譜明显地不同与相应同位素（由所产生軔致輻射）的光譜，不同与与內轉換，电子俘获和正电子湮沒有关的輻射的光譜有差別的．例如：Tu^{170}源的总和光譜的平均能量是80—200千电子伏（由源的类型而定）而代替了表上的值 84 千电子伏；Zn^{65} 源的平均能量等于 0.35 兆电子伏，而代替了表上的值 1.1 兆电子伏，以及其他等．

这样由 Eu^{155}，Se^{75}，Ce^{144}，和 Zn^{65} 制成的源属于軟輻射体組，这些源可以推荐用于輕合金，金属及重金属薄层的探伤用，及用于記录低原子序数材料上反射射綫的工艺检驗仪器中．其余的一些源最适宜用于对黑色金属較厚的层的探伤．

在选择 β 輻射源用于这种或那种目的时也应当是这样处理，看过目前所生产的 β 輻射源之特性，很容易把它們分为两組

1）"純"β 輻射源（片状和圓盘状的 Pm^{147}，Tl^{204}，Sr^{90}，和圓盘状的 Ce^{144}）．这些源适用于消除物件計数仪器和鍍层厚度測量仪中的靜电荷．

2）强軔致輻射源（片状的 Ce^{144} БИ 型源的 Ru^{106}，和 Sr^{90}），这些源适用基于輻射穿过物质原理而工作的仪器．

輻射仪器制造技术的进一步发展，与設計关系到研究任务的順利解决．也就是如何进一步完善已研究出来的仪器和源，以及在这个范围內組織新的研究工作．

小組会議的結果对过去的工作做了某些初步总結，并确定了仪器制造业进一步发展的基本途径．

庫里什（E. E. Кулиш）

簡 訊

苏联 1960 年 6 月在埃里溫（亚美尼亚苏維埃社会主义共和国首都）召开了第四屆全苏高能物理和基本粒子会議．出席会議的有苏联科学院物理研究所、格魯吉亚、哈薩克斯坦和亚美尼亚科学院物理研究所、联合原子核研究所以及列宁格勒和哈尔科夫物理技术研究所的代表．

英国 在溫福里特原子能研究中心开始建造試驗性的"龙"牌高温反应堆．該堆拟于 1963 年投入运行．

英国 在溫得斯凱尔制备了 20 克純鈈，为此曾对 100 多吨化学加工的照射过的燃料废料进行了处理．同时还提取了鏷．在溫得斯凱尔共制备了 100 克各种不同的稀土元素．

以色列 1960 年 7 月，在特拉維夫附近的原子核研究中心，功率 7000 瓩的游泳池型研究性反应堆达到了临界状态．

印度 生产释热元件的工厂已在孟买建成．該工厂将为原子能发电站（拟于 1964 年投入生产）供应燃料．估計，工厂的年产量为 20 吨．

荷兰 国立原子能研究中心和工业公司共同設計一个船用压力水反应堆，其功率为 6 万瓩

挪威 在原子能研究所的 JEEP 研究性反应堆上（1951 年起动）发現重水（慢化剂）罐有漏洞．为了消灭事故，已經停堆并全部卸下鈾棒．JEEP 反应堆第一次严重的事故使得国內的放射性同位素的生产停止．

秘魯 在的的卡卡湖附近，計划建造一个功率为 10 万瓩的原子电站．

美国 1963—1970 年，計划在 9 个遙远的地区建造电功率为 5—40 兆瓦的小型电站．經研究証明，从經济观点来看，在某些地区建造原子能发电站要比建造普通电站合算．

美国 为了改建，于 1959 年 6 月停止运行的試驗性沸騰水动力堆（国立阿貢实驗室），又重新达到临界状态．該堆的热功率由 2 万瓩增加到 10 瓩．

美国 "水鍋炉"型的原子核反应堆的設計已提交給原子能会議的联合委員会．审查将这种反应堆安装在客貨商船上沿太平洋航行的可能性．

商船可容納 1450 个乘客，航速为 26 节，其造价为 92000000 美元．

美国 "Миннеаполис-Хонпуэлл регюлейтор"公司設計了一个試驗性再循环的鈈堆的自动起动系統，該堆目前正在华盛頓州汉福特为原子能委員会建造．在自动起动系統采用了两級按鈕控制，特殊仪表可以測量和检查分裂的速度．当堆功率达到 2000 瓩以后，操纵員在第二級可将功率提高到事先規定的任何一个水平上，直到 7 万瓩．

法国 1960 年 4 月初，馬庫尔两用反应堆 G-3 已生产工业用电．

法国 在 EL-3 反应堆（在薩克萊）上取得了

低浓鈾鉬合金制造的释热元件燃耗的第一次实驗結果．用鋁作为复盖层．释热元件表面的最大溫度为1200°C，其比功率为4万瓩/吨，生产的能量为400万瓩·昼夜/吨鈾，代替了預先估計的300万瓩·昼夜/吨．某些释热元件的燃耗度达到700万瓩·昼夜/吨，而且未观察到释热元件发生变形．

法国　在1959年內国內 U_3O_8 的生产量达到900吨．估計，1960年法国氧化鈾的生产量将增加到两倍．

西德　在尤里赫原子能研究中心建成了堆結构研究所．預計，在尤里赫共建造13个研究所．

瑞典　国家动力管理局、瑞典ASEA公司和不列顛原子能公司正在共同設計一个卡德尔豪尔型的地下动力堆，其有效电功率为235,000瓩．

日本　通商产业省（相当于外貿部和工业部）批准了在国內建造原子电站的远景規划．除了热电站以外，計划規定工业用的原子电站，大概从1971年起，国內原子电站的总功率应达到1百万瓩．估計，到1980年，日本原子能发电站的总功率应达到6—7.5百万瓩．

日本　原子能科学研究所設計了一个报导发現放射性的自动系統．这一系統将安装在东京的原子工厂，并記录工厂放射性的逸漏，以及国外核爆炸而产生的放射性沉积物．系統的全套包括电传打字机設备，它将自动地打印出关于大气中放射性的消息．系統的大概造价为5千万日元．

新 書 介 紹

最 新 文 献

书籍和論文集

原子核地球物理（放射性輻射和放射性同位素在石油地质学方面应用的論文选集）Ф. А. 阿列克塞耶夫主編．莫斯科．国家燃料工业出版社．1959年．372頁．12卢布90戈比．

本书介紹的是放射性輻射和放射性同位素在石油地质学方面应用的一些資料．敍述了記录中子和γ射綫的放射性测量仪表，对各种岩层模型的研究結果，以及利用感应放射性测定鉆井內岩层的方法的原理等等……．

介紹了利用中子对岩层的孔隙性作定量测量的方法的結果，以及利用中子和感应放射性来确定岩层中水-石油接触点的位置．

闡述了在鉆井中放射性测量方法应用的基本問題．介紹了一种寻找石油产地的放射性测量的新方法，其原理是在石油产地区域內对地球表面放射性进行测量．

卡汉．T．，郭集．M．**核反应堆物理和計算**．譯自法文．莫斯科．原子能出版社．1960年．392頁．19卢布40戈比．

本书是核技术教程三卷中的第一卷．本书內容包括核物理基础、放射性和核輻射的性质，以及核裂变过程和鏈式反应．討論了核反应堆稳定性理論和动力学．敍述了均匀反应堆和非均匀反应堆的計算方法，并通过对运行設备的数值計算的实例和特性的介紹，具体加以闡述．

本书的对象是或者是原子工业的工程技术人員有关系科的大学生．

工业射綫照相术　譯自英文．史坦 A. C.（Штань A. C.）西尼欽 B. И.（Синицынь B. И.）主編，莫斯科．原子能出版社．1960年．330頁．14卢布30戈比．

本书敍述了放射性同位素和核輻射在工业各部門，特别是金属加工工业方面的应用；还敍述了零件无損試驗的各种方法．

此书是供工业部門中的工程技术人員，或者是有关系科的大学生閱讀．

格拉西莫夫斯基 B. И.（Герасимовский B. И.）．**外国产鈾地区**．莫斯科．苏联科学院出版社．1959年．144頁．4卢布20戈比．

本书是一本有关鈾矿物和它在外国一些主要产地的国外文献簡論，它敍述了鈾的各种矿物和它們的化学成份、特性及生成条件．介紹了一些含鈾量高而蘊量又丰富的产鈾地，以及一些較小的但值得工业开采的产鈾地．

Atom ABC. Henaujegeben von W. D. Müller **原子能专有名詞詞典**．編著者 B. Д. 苗涅尔（B. Д. Мюллтер）Düsseldorf, Econ-Verlag. 322 s.

这是一本詳解字典，它用通俗的形式解释了在核物理、堆技术和其它一些利用原子能的方面：医学、生物学、农业、工业等方面所經常遇到的概念．书中还介紹了研究性反应堆和动力反应堆的一些基本特性．并对許多在技术文献中經常碰到的专有名詞、縮写字、記号都作了通俗解释．

这本字典适用于对利用原子能問題感兴趣的广大讀者，它对于閱讀德文技术文献的专家以及翻譯、編輯都有莫大的帮助．

国外原子技术．第九期．（1960年）

第九期的第一篇文章介紹了 ЦЕРНа 型质子同步加速器，质子在加速器內的能量可达到280兆电子伏，文章的后一部分列有世界各国正在运行的和正在建造的质子同步加速器比較表．

在一篇簡訊中，报导了1960年3月在美国召开的关于原子能直接轉变成电能問題的大型会議內容．

下面还有二篇短文是談瑞典和芬兰核动力工程的发展問題．第一篇短文报导了瑞典新动力反应堆三种类型：重水型、沸騰型、石墨汽体型的建造計划；而其中談到第一种类型的反应堆对瑞典的条件来說是最經济的了．第二篇短文里引述了在芬兰建立核动力工程途径的一般看法．目前芬兰的主要任务是要着手培养一批原子能专业的干部队伍．

另外有三篇文章簡明地敍述了美国三种类型的反应堆：为試驗結构用研究性反应堆（HWCTR）、气体燃料快增殖反应堆和研究不稳定过程用的研究性

反应堆（SPERT-11）并且引述了这三种反应堆的特点。

下一篇文章介紹了法国薩克拉 EL-3 和 EL-2重水反应堆所发生的事故，闡述事故发生原因和消灭事故的方法。事故发生的原因是由于释热元件坏了，这样就引起载热剂和反应堆建筑物室內的空气放射性强度增加。

在一篇簡訊中介紹了英国卡德尔-霍尔型反应堆电能价格的最新資料。

下面一篇文章是闡明了从被照射过的核燃料化学加工的废物中分离鈍的方法。

本期最后一篇文章介紹了几种剂量仪器（光学暗盒和快中子剂量計）。

ЖУРНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ[1]

I. ФИЗИКА ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Нейтронная и реакторная физика. Физика горячей плазмы и управляемые термоядерные реакции. Физика ускорения заряженных частиц

Вестн. АН СССР, № 4 (1960)

Цянь Сан-цян, 121—124. Развитие ядерных исследований в КНР.

Докл. АН Арм. ССР, 29, № 5 (1959)

Хейфец С. А., 211—213. Способ создания устойчивости вертикального движения в ускорителе с увеличивающимся по радиусу магнитным полем.

Хзарджан С. М., 215—221. К теории нелинейных колебаний в плазме при постоянном внешнем магнитном поле.

Докл. АН СССР, 131, № 5 (1960)

Холев С. Р., Полтавченко Д. С., 1060—1063. Ускорение плазмы разряда и получение сильных ударных волн в камере с коаксиальными электродами.

Докл. АН СССР, 131, № 6 (1960)

Брегер А. Х. и др., 1308—1311. Поглощение гамма-излучения в макросистемах от точечного источника.

Ж. эксперим. и теор. физ., 38, вып. 5 (1960)

Бочагов Б. А. и др., 1374—1380. Кинетическая энергия осколков фотоделения U^{238}.

Габович М. Д. и др., 1430—1433. Обнаружение ионных колебаний в плазме.

Ловчикова Г. Н., 1434—1435. Угловое распределение упруго рассеянных нейтронов.

Ковальский Н. Г. и др., 1439—1445. Исследование быстрых электронов в мощных импульсных разрядах.

Барабаненков Ю. Н., 1512—1514. Кулоновское рассеяние зарядов в сильном магнитном поле.

Комаров В. В., Попова А. М., 1559—1563. Исследование спектров нейтронов из реакции распада дейтрона под действием протонов.

Степанов К. Н., Пахомов В. И., 1564—1568. О магнитно-тормозном излучении ограниченной плазмы.

Силин В. П., 1577—1583. Об электромагнитных свойствах релятивистской плазмы.

Гуревич А. В., 1597—1607. К вопросу о количестве ускоряющихся частиц в ионизованном газе при различных механизмах ускорения.

Зайцев А. А., Васильева М. Я., 1639—1640. О связи между колебаниями и скоростью потерь заряженных частиц в цилиндрической плазме низкого давления в продольном магнитном поле.

Кварцхава И. Ф. и др., 1641—1643. Неустойчивость индукционного пинча.

Изв. АН Арм. ССР, серия физ.-матем. наук, 12, № 5 (1959).

Хейфец С. А., 105—113. Возбуждение фазовых колебаний частиц в электронном синхротроне шумами магнитного поля, частоты и напряжения ускоряющего поля.

Изв. АН СССР, серия физ., 24, № 3 (1960)

Джелепов Б. С. и др., 258—260. α-излучение U^{233}.

Изв. высш. учеб. заведений. Радиофизика, 3, № 1 (1960)

Железняков В. В., 57—66. О неустойчивости магнитоактивной плазмы относительно высокочастотных электромагнитных возмущений. I.

Гершман Б. Н., 146—148. О групповой скорости плазменных волн при наличии магнитного поля.

Изв. высш. учеб. заведений. Физика, № 1 (1960)

Степанов В. Г. и др., 104—114. Движение плазмы в движущемся магнитном поле.

Епонешников В. Н. и др., 139—144. Динамика эффективного угла сектора в ускорителях с прямолинейными участками.

Тернов И. М., Туманов В. С., 155—163. К вопросу о движении поляризованных электронов в магнитном поле.

Кессених В. Н., 234—235. Когерентное рассеяние в плазме.

Воробьев А. А., Тернов И. М., 236—241. Международная конференция по ускорителям частиц высокой энергии и инструментам ядерной физики, состоявшаяся в Женеве 14—19 сентября 1959 г.

Титов В. Н., 241—243. Конференция по электронным ускорителям.

Приборы и техника эксперимента, № 2 (1960)

Абов Ю. Г., 3—14. Теория нейтронных кристаллических монохроматоров.

---

1) Список иностранных журналов, используемых в разделе «Библиография», опубликован в январском выпуске журнала «Атомная энергия» за 1960 г. Для информации о содержании советских журналов используется «Летопись журнальных статей» Всесоюзной книжной палаты.

Зейтленок Г. А. и др., 16—20. Высоковольтное питание поворотных пластин системы ввода ионного пучка в камеру синхрофазотрона на 10 *Гэв*.

Самойлов И. М., 21—23. Инжектор для электронных ускорителей.

Петржак К. А., Седлецкий Р. В., 34—37. Счетчики для измерения слабых активностей.

Дмитриевская Т. И. и др., 38—40. Применение торцовых счетчиков для измерения бета-излучения малой активности.

Пикус Г. Я., 104—106. Масс-спектрометр с высоковакуумным масс-анализатором.

Краснов Н. Н., 148—150. Высокочастотный ионный источник циклотронного типа.

Природа, 40, № 5 (1960)

Курсанов Г. А., 3—7. В. И. Ленин и диалектика физического мира.

Усп. физ. наук, 70, вып. 4 (1960)

Страховский Г. М., Кравцов Н. В. Сильные магнитные поля.

Arkiv fys. 16, H. 5 (1960)

Singwi K., 385—411. Теория диффузионного охлаждения нейтронов в твердом замедлителе конечных размеров.

Nucl. Energy, 14, No. 145 (1960)

Paulsen F., 267—268. Исследования в области термоядерного синтеза, проводимые Евратомом.

— — 269—271. Установка для дифракции нейтронов.

Nucl. Instrum. and Methods, 7, No. 1 (1960)

Parker W. et al., 22—36. Некоторые методы приготовления радиоактивных материалов, используемых в β-спектроскопии.

Mitrofanov N., Van Loef J., 63—66. Регистрация нейтронов и γ-лучей, вызывающих деление, сцинтиллятором ZnS(Ag) с примесью урана и тория.

Newson H., Williamson R., 67—72. Нейтронная спектроскопия с высокой разрешающей способностью.

Henneberke G., 89—98. Электронный ускоритель в корпусе под давлением на ток 3 *ма* и постоянное напряжение 1.5 *Мв*.

Nucl. Instrum. and Methods, 7, No. 2 (1960)

Burman R., Vavin A., 101—112. Многоцелевой магнитный анализатор частиц.

Deruytter A., 145—152. Камера деления с 4π-геометрией.

Burke E., Lowe L., 193—196. Вычисление спектров тепловых нейтронов из данных по их прохождению через вещества.

Butler J., 201—203. Брикеты из CaB_6, поглощающие нейтроны.

Nucl. Sci. and Engng, 7, No. 4 (1960)

Gross E., Marable J., 281—291. Статический и динамический коэффициенты размножения и их связь с уравнением обратных часов.

Teichmann T., 292—294. Замедление нейтронов.

Conkie W., 295—303. Кинетическое уравнение, зависящее от скорости нейтронов.

Häfele W., Dresner L., 304—312. Теория «смягчения» спектра нейтронов, диффундирующих в гомогенной и гетерогенной средах.

Russell H., 323—324. Выделение без носителя Mn^{54} и I^{125} из циклотронных мишеней.

Baker P. et al., 325—326. Циклотронные мишени из элементов, обогащенных стабильными изотопами.

Green F., Martin J., 387—391. Увеличение выхода радиоизотопов, получаемых в циклотроне.

Aline P. et al., 392—394. Эффект размножения на быстрых нейтронах в бериллии.

Nucleonics, 18, No. 6 (1960)

Thompson M., 133, 135, 136, 139—140. Влияние фокусирующих столкновений на радиоактивные нарушения в металлах.

Nukleonik, 2, H. 3 (1960)

Özemre A., 100—105. Исследование нейтронных потоков, создаваемых введением «запальных» нейтронов в гомогенную размножающую среду.

Kraut A., 105—128. Результаты физических исследований деления ядер.

Nukleonika, V, Nr. 1—2 (1960). Приложение 1

Niewodniczanski H., Zakrzowski J. Первый «большой циклотрон» в Польше.

II. ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Теория и расчет ядерных реакторов Реакторостроение. Эксплуатация ядерных реакторов и атомных электростанций

Инж.-физ. ж., 3, № 4 (1960)

Ермаков В. С., 127—131. Нестационарное температурное поле в тепловыделяющих элементах реактора.

Инж.-физ. ж., 3, № 5 (1960)

Ярошевич О. И., 81—85. Исследование процессов переноса тепла в тепловыделяющих элементах ядерных реакторов методом гидравлического моделирования.

Ермаков В. С., 115—118. К вопросу о нестационарном температурном поле в тепловыделяющем элементе реактора.

Технол. судостроения, 1 (1960)

— — 39—41. Постройка и сдача атомного ледокола «Ленин».

Волков А. К., 69—76. К вопросу о сварке стальных конструкций атомных реакторов. (Из зарубежного опыта.)

Богданов В. П., Калашников Г. Ф., 73—76. Экономика постройки судна с ядерной энергетической установкой. (Из зарубежного опыта.)

Atomkernenergie, V, H. 5 (1960)

Benzler H., 165—172. Опрокидывание потока теплоносителя в реакторах с газовым охлаждением.

Atomwirtschaft, V, H. 5 (1960)

Finke W., 204—208. К вопросу о стоимости

ядерного горючего.

Armor J. et al., 209—216. «Латина» — первая атомная электростанция в Италии.

Energia Nucl., 7, No. 5 (1960)

Torielli E. et al., 333—341. Электронная модель для контроля работы газодувок атомной электростанции в Латине.

Diana E. et al., 342—349. Вычисление образования N^{16} в реакторе типа «Латина» методом Монте-Карло.

Jaderná Energie, VI, No. 6 (1960)

Barabas K., 188—191. Об экономической выгодности атомных электростанций.

Rýpar V., 192—199. Проблемы коррозии в энергетических реакторах, охлаждаемых CO_2.

Nucl. Energy, 14, No. 145 (1960)

— — 257—259. Транспортабельный реактор PM-2A, предназначенный для работы в Гренландии.

Whelchel C., Robbins C., 263—266. Использование разрежений в ядерных энергетических реакторах.

Nucl. Engng, 5, No. 49 (1960)

Elthan B., Cowper M., 243—244. Автоматическая защита реактора с газовым охлаждением.

Gray A., 245—248. Измерение потока нейтронов при повышенных температурах.

— — 264—265. Проект датского реактора с газовым охлаждением «Бета».

— — 266—267. Американская программа развития гражданских ядерных реакторов.

Nucl. Power, 5, No. 50 (1960)

Bolt P., 97—99. Параметры пара для судовых реакторов с органическим замедлителем

— — 116—117. Очистка элементов теплообменников.

Carstairs R., Taylor M., 120—122. Поведение радиальной собственной функции реактора.,

Nucl. Sci. and Engng, 7, No. 4 (1960)

Hammitt F., 327—335. Проблема газообразных продуктов деления в реакторе с циркулирующим горючим.

Mochizuki K., 336—344. Анализ осцилляций нейтронного потока вследствие накопления ксенона в больших энергетических реакторах.

Kottwitz D., 345—354. Спектр тепловых нейтронов в среде с дискретным полем температуры.

Fischer G., 355—362. Измерения энергетического спектра нейтронов в сборках без замедлителя.

Hummel H., Meneghetti D., 363—368. Диффузия промежуточных нейтронов в толстый резонансный поглотитель.

Finn B., 369—376. Соотношение между изменениями реактивности, лапласиана и периодами тяжеловодного реактора.

Newgard J., Levoy M., 377—386. Проект ядерной ракеты.

Nucleonics, 18, No. 6 (1960)

Palladino N., Davis H., 85—116. Принципы проектирования энергетических ядерных реакторов в США.

Sowa E., 122—124. Эксперименты на реакторе TREAT по расплавлению тепловыделяющих элементов реактора EBR-2.

Nukleonik, 2, H. 3 (1960)

Engel J., Schröder R., 88—90. Измерение реактивности в берлинском реакторе BER.

Märkl H., 90—100. Нестабильность мощности и концентрации ксенона в большом тепловом энергетическом реакторе.

Nukleonika, IV, Nr 6 (1959)

Pomerski R., 639—653. Перспективы развития ядерной энергетики и возможные изменения в стоимости производства электроэнергии.

Nukleonika, V, Nr 1—2 (1960)

Александрович Е., 1—21. Годовой период эксплуатации реактора типа ВВР-С в Польше (на русском языке).

Frankowski W., 23—26. Установка для измерения степени выгорания тепловыделяющих элементов без разрушения оболочки.

III. ЯДЕРНОЕ ГОРЮЧЕЕ И МАТЕРИАЛЫ

Ядерная геология и первичная технология. Ядерная металлургия и вторичная технология. Химия ядерных материалов

Вестн. АН СССР, XXX, № 5 (1960)

Яновский М. И., Газиев Г. А., 27—31. Газо-жидкостный радиохроматограф.

Геология рудн. месторождений, № 2 (1960)

Каблуков А. Д., Вертепов Г. И., 20—31. Ореолы рассеяния элементов вокруг урановых рудных тел.

Геохимия, № 3 (1960)

Макаров Е. С. и др., 193—213. Кристаллическое строение уранинитов и настуранов.

Наумов Г. Б., Миронова О. Ф., 241—246. Окислительно-восстановительное равновесие в системе уран — железо в карбонатной среде и его значение в геохимии.

Докл. АН СССР, 132, № 2 (1960)

Данилевич С. И., 443—446. О достоверности возраста монацитов, определенного по урановому методу.

Ж. анал. хим., 15, вып. 2 (1960)

Григорьев В. Ф. и др., 184—190. Аналитическая химия урана. Сообщ. I. К вопросу о люминесцентном методе определения урана.

Ж. неорганич. хим., 5, вып. 5 (1960)

Сохина Л. П., Гельман А. Д., 1013—1015. О разложении оксалатных комплексных соединений плутония под действием α-излучения.

Шевченко В. Б. и др., 1095—1099. О механизме экстракции урана (VI) трибутилфосфатом из солянокислых растворов.

Зап. Всесоюз. минералог. о-ва, ч. 89, вып. 2

(1960)

Черников А. А. и др., 180—186. Урансодержащий вульфенит.

Atomwirtschaft, V, H. 5 (1960)

Ziehr H., 223—230. Поиски урана с помощью геликоптеров.

Econ. Geol., 55, No. 3 (1960)

Hilpert L., Moench R., 429—464. Месторождения урана в южной части бассейна Сан-Жуан, шт. Нью-Мексико.

Energia Nucl., 7, No. 5 (1960)

Germagnoli E., Granata S., 309—322. Поведение вакансий в решетке чистых металлов.

Damiani L. et al., 323—332. Импульсная колонна для жидкостной экстракции. Ч. 1—Описание и работа.

Cerrai E., Gazzarrini F., 358—360. Спектрофотометрия тория и торона в присутствии циркония.

Jaderná Energie, No. 6 (1960)

Zajíc V., 200—201. Удельная теплота и теплопроводность порошка U_3O_8.

Nucl. Energy, 14, No. 145 (1960)

— — 272—274. Фтористые соединения и атомная энергия. Ч. I.—Производство и применения фтористого водорода.

— — 276—277, 282. Производство изотопов в Амершаме.

Nucl. Engng, 5, No. 49 (1960)

Hanna G. et al., 258—260. Обработка бериллия в лабораториях австралийского исследовательского центра в Люкас-Хайте.

— — 261—263. Конференция по металлургии плутония в Гренобле.

Nucl. Power, 5, No. 50 (1960)

Saddington K., 92—96. Регенерация горючего от гражданских ядерных реакторов.

Braithwaite E., 118—120. Коллоидальные графитовые смазки.

Accary A., Blum P., 122—123. Производство и свойства карбида урана.

Nucleonics, 18, No. 6 (1960)

Flanders R. et al., 126—127. Использование кислого фтористого аммония для травления циркония.

Nukleonik, 2, H. 3 (1960)

Eulitz G., 85—87. Разделение Pb, Ca, Sr, Ba и Ra в катионообменнике.

Nukleonika, IV, Nr 6 (1959)

Trzebiatowski W. et al., 591—598. Восстановление фтористого урана (IV) жидким алюминием в расплавленных солях.

Złotowski I., Zieliński M., 599—610. О некоторых зависимостях между механизмом реакции $CO_{газ} \xrightarrow{I_2O_5} CO_{2газ}$ и кинетическим изотопным эффектом для C^{14}.

Zmysłowska S., 625—638. Использование сцинтилляционного γ-спектрометра для одновременного определения урана, тория и калия в пробах скал и почв.

— — 665—681. VI конгресс польского химического общества.

Nukleonika, V, Nr 1—2 (1960)

Złotowski I., Zieliński M., 27—31. Изотопный эффект в процессе пиролиза $C^{14}H_3COONa$.

Minc S., Bryl T., 33—45. Влияние света на спектр поглощения растворов уранилнитрата в трибутилфосфате.

Minc S., Rafalski W., 47—53. Получение металлического тория электролизом из расплавленных солей.

Korpak W., Majchrzak K., 55—62. Сорбция урана из карбонатных растворов на анионите SM-x5.

Korpak W., Deptuła Cz., 63—71. Система три-н-бутилфосфат — разбавитель — HNO_3 — H_2O.

Kołos W., 73—80. Реактивность некоторых ионизированных углеводородов.

IV. ЗАЩИТА ОТ ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Радиобиология и радиационная гигиена. Теория и техника защиты. Приборная техника

Гигиена и санитария, № 4 (1960)

Бондарев Г. И., 92—96. Облученные ионизирующей радиацией пищевые продукты и их пригодность для питания людей.

Измерит. техника, № 3 (1960)

Вотлохин Б. З., 38—39. Малогабаритный радиометр с электрогенератором.

Инж.-физ. ж., 3, № 4 (1960)

Кухтевич В. И. и др., 125—126. Дозовые характеристики ионизационных камер и сцинтилляционных кристаллов больших размеров.

Мед. радиология, 5, № 3 (1960)

Бубнов В. С. и др., 61—64. Применение кристаллов бромистого калия для дозиметрии γ-излучения.

Терман А. В., 78—79. Применение радиоактивных индикаторов в гигиенических исследованиях.

Природа, 49, № 5 (1960)

Бреславец Л. П., Милешко З. Ф., 50—53. Защита растений от ионизирующего излучения.

Atomkernenergie, V, H. 5 (1960)

Hagen U., Langendorff H., 173—181. О применении единицы измерения «гет» в дозиметрии.

Dunkel D., 183—187. О применении ионообменных смол для экстракции радиоактивных продуктов деления из атмосферных осадков.

Atomwirtschaft, V, H. 5 (1960)

Seetzen J., 230—233. Защита ядерного реактора.

Graf H., 235—238. Международные предупредительные знаки, используемые в области атомной энергии.

Energia Nucl., 7, No. 5 (1960)

De Matteis A., Giacobbe P., 350—357. Применение метода Монте-Карло для изучения физических

характеристик детектора нейтронов.

Industr. Health, 21, No. 3 (1960)

Dunham Ch., 287—291. Ионизирующие излучения и промышленная гигиена.

Jaderná Energie, VI, No. 6 (1960)

Herčík F., 181—183. Биологическое действие радиоактивного углерода.

Čeřovsky J., Malášek E., 184—187. Захоронение загрязненного радиоактивностью лабораторного оборудования.

J. Water Pollut. Control Federat., 32, No. 3 (1960)

Tsivoglou E. et al., 262—287. Контроль радиоактивного загрязнения р. Анимас.

J. Water Pollut. Control Federat., 32, No. 5 (1960)

Krieger H. et al., 495—504. Лабораторные эксперименты по выделению продуктов деления из отходов ядерного горючего.

Nucl. Engng, 5, No. 49 (1960)

Barratt P., 251—254. Ионизирующие излучения и проектирование электронного оборудования.

Cavanagh P., 255—257. Самописцы для записи импульсов ядерных излучений.

Nucl. Power, 5, No. 50 (1960)

Taylor D., 110—114. Дозиметрические приборы. 3.

— — 117. Новый материал на алюминиевой основе для защиты от тепловых нейтронов.

Nucleonics, 18, No. 6 (1960)

Campbell M., 118—119. Автоматическая установка для анализа радиоактивных образцов методом фазового разделения.

Nukleonika, IV, Nr 6 (1959)

Owczarski T., 655—663. Надежность работы устройств совпадения в системах аварийной сигнализации ядерных реакторов.

Research, XIII, No. 6 (1960)

White P., Smith S., 228—233. Удаление радиоактивных частиц из воздуха.

V. РАДИОАКТИВНЫЕ И СТАБИЛЬНЫЕ ИЗОТОПЫ

Метод меченых атомов. Использование радиоактивных излучений. Непосредственное преобразование атомной энергии в электрическую

Докл. АН СССР, 131, № 6 (1960)

Несмеянов Ан. Н., Де Дык Ман., 1383—1385. Измерение давления пара твердою хрома методом радиоактивных изотопов.

Измерит. техника, № 5 (1960)

Корсунский М. И. и др., 50—52. Применение радиоактивных изотопов для измерения влажности пара.

Каучук и резина, № 4 (1960)

Брегер А. Х. и др., 17—22. Сравнительная оценка эффективности различных источников ядерных излучений для процесса радиационной вулканизации шин.

Нар. хоз. Казахстана, № 4 (1960)

Каипов Р., 85—87. Радиоактивные изотопы в народном хозяйстве.

Atomkernenergie, V, H. 5 (1960)

Martin H., 187—201. Обзор новых советских работ по применению радиоактивных изотопов.

Atomwirtschaft, V, H. 5 (1960)

Wiesner L., 216—218. Использование ядерно-физических методов при поисках и добыче нефти.

Nucl. Power, 5, No. 50 (1960)

Lindley B., 100—103. Методы непосредственного получения электроэнергии из атомной энергии.

Nucl. Sci. and Engng, 7, No. 4 (1960)

Gumbleton J. et al., 313—319. Использование Fe^{59} для определения износа автомобильных двигателей.

Green F., Somerville A., 320—322. Непрерывный счет γ-лучей из горячих радиоактивных жидкостей.

Nucleonics, 18, No. 6 (1960)

Hill Ch. et al., 130, 132—133. Использование γ-излучения для определения содержания барита в специальной смазке.

Kniebes D. et al., 142—147. Использование Ar^{41} для измерения расхода газов.

Nukleonika, IV, Nr 6 (1959)

Broszkiewicz R., 611—624. Применение радиоактивных изотопов в Польше в 1958 г.



СОДЕРЖАНИЕ

СТАТЬИ

П. Л. Кириллов, В. Д. Колесников, В. А. Кузнецов, Н. М. Турчин. Приборы для измерения давления, расхода и уровня расплавленных щелочных металлов (7)
З. Длоугы. Измерение возраста нейтронов в графите импульсным методом (9)
А. Н. Лебедев. О высокочастотном накоплении пучка в циклических ускорителях (15)
С. Г. Конобеевский. О релаксации упругих напряжений под действием нейтронного облучения (20)
П. В. Прибытков. Основные принципы классификации промышленных урановых руд (27)
С. А. Вознесенский, Г. А. Середа, Л. И. Басков, Е. В. Ткаченко, В. Ф. Багрецов. К вопросу о применении флотации при очистке радиоактивных сточных вод (34)

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

Н. А. Бургов, Г. В. Данилян, И. Я. Корольков, Ф. Штерба. Спектр γ-лучей реактора ТВР (51)
А. Р. Птицын. К вопросу о нахождении пространственно-энергетического распределения нейтронов от плоского источника в бесконечной среде (54)
В. Ф. Михайлов. Простой многоканальный амплитудный анализатор импульсов (57)
С. Г. Тресвятский, В. И. Кушаковский, В. С. Белеванцев. Изучение систем Al_2O_3—Sm_2O_3 и Al_2O_3—Gd_2O_3 (59)

НОВОСТИ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Всесоюзное совещание по внедрению радиоактивных изотопов и ядерных излучений в народное хозяйство СССР (61). Использование радиоактивных изотопов и ядерных излучений при разведке и разработке полезных ископаемых (61). Применение радиоактивных изотопов и ядерных излучений в металлургии (63). Применение радиоактивных изотопов в горнообогатительной и горнодобывающей промышленности (64). Применение радиоактивных изотопов и ядерных излучений в строительстве (66). Применение радиоактивных изотопов в легкой промышленности (68). Применение радиоактивных изотопов и ядерных излучений в машиностроении (70). Радиоактивные изотопы и ядерные излучения на службе сельскому хозяйству (72). Радиоактивные изотопы и ядерные излучения в пищевой промышленности (74). Использование радиоактивных изотопов и ядерных излучений в медицине (77). Источники α-, β-, γ-излучений для контроля и автоматизации технологических процессов (79).
Краткие сообщения (80).

БИБЛИОГРАФИЯ

Новая литература (82)

征求譯者簡約

1. 本編委会征求俄、英、德、法、日等文种的譯者，譯文內容包括原子能科学技术有关的資料和新聞报导.
2. 凡愿参加翻譯者請来信联系，注明眞名、专业、翻譯文种、工作机关及詳細通信地址.
3. 凡向"原子能譯丛"杂誌推荐的譯文选題，在未与本編輯部联系前，請勿开譯，以免重譯或选材不合本刊要求. 选題須注明来源和內容摘要.
4. 譯稿經采用后酌致稿酬.
5. 惠件請寄"北京市邮局 287 信箱 1 号".

中国科学院原子核科学委員会編輯委員会

原子能（月刊）

編 輯 者	中国科学院原子核科学委員会編輯委員会（北京市邮局 287 信箱 1 号）
出 版 者	科学出版社
印 刷 者	中国科学院印刷厂
总发行处	北京市邮局
訂 購 处	全国各地邮电局
代訂零售处	全国各地新华书店 科学出版社各地門市部

（京）1—3,000　1961 年 1 月 5 日出版　延至 3 月中旬出版

定价：1.10 元

本刊代号：2—212